

1 01062



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

**INVENCIÓN Y DESINVENCIÓN DE LOS DESECHOS
NUCLEARES 1939-1997**

LA HUELLA AMBIENTAL DE LA CARRERA ARMAMENTISTA

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN HISTORIA DE MÉXICO QUE

P R E S E N T A :

ALBERTO BETANCOURT POSADA



NOVIEMBRE DE 2008

**FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
SERVICIOS ESCOLARES**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis hubiera sido imposible sin la ayuda de numerosas personas.

F.G. Goslin Director del Archivo Histórico del Departamento de Energía me permitió el acceso a una gran cantidad de documentos y me hizo valiosos comentarios sobre el trabajo de campo que realizan los tecnólogos de los laboratorios del complejo nuclear militar.

El Dr. Arjun Makhijani me ofreció una ayuda invaluable a través de las publicaciones del IEER y de algunos comentarios personales.

Dianne D'Arrigo me auxilió en la comprensión de los problemas relacionados con el Confinamiento de Desechos Radioactivos de Yucca Mountain, Nevada y Sierra Blanca, Texas, además me proporcionó los materiales del Seminario Nacional Sobre Desechos Radioactivos.

Los doctores David Gugerli, Marco Antonio Martínez y Juan Manuel Sandoval me ofrecieron una invaluable ayuda y aliento para abordar diferentes problemas metodológicos, sobre todo en la etapa inicial de esta investigación.

María Elena Villafuerte, Sandra Escutia y Claudia González brindaron un importante apoyo en la compilación de materiales y el establecimiento de contactos con especialistas.

Carlos Salas, Marcos Chavéz y Francisco Aguayo, quienes fueron mis compañeros en el Programa de Ciencia y Tecnología de El Colegio de México colaboraron de muchas formas en la elaboración de este trabajo.

Mary Pozzi y Angelli Gelinas me brindaron una generosa ayuda en diversos problemas de traducción.

Angélica González me permitió consultar la biblioteca del Instituto de Física.

Michael Flynn me facilitó enormemente el contacto y la relación con diversos autores y materiales de la revista *The Bulletin of Atomic Scientists*.

Alejandro Nadal, quien fungió como asesor de la tesis, me invitó a integrarme como profesor-investigador del Programa de Ciencia y Tecnología de El Colegio de México y de distintas maneras hizo posible la elaboración de este trabajo.

Sharon Philips y Marilú Camarena me ofrecieron su casa y a su manera me dieron las llaves de la ciudad de Washington D.C. durante mi estancia de investigación.

José Luis Oliva Posada me auxilió pacientemente en numerosos problemas cibernéticos.

Bárbara Belajack me puso en contacto con personas claves para la realización y difusión de este trabajo. Asimismo debo agradecer a Georgina Gatsiopoulos su vital apoyo durante diversas fases de mi investigación.

Ricardo Pérez Montfort, Josefina Mc Gregor, María de la Paz Ramos y Raúl Domínguez, fungieron como sinodales en mi examen y me hicieron valiosas observaciones.

Mis amigos (que eso son, antes que miembros de mi familia) Dostoiewski Posada, María Teresa Posada, Yarina Betancourt, Gilberto Chavarría, Juan

Manuel Posada, Elvira Caballero, y Claudia Ruvalcaba, me colmaron de razones para respirar y me acompañaron en la aventura de escribir.

También debo agradecer la ayuda y la amistad de numerosas personas entre las que se encuentran: Sergio y Alma; Adriana y Antolín; Aníbal y Martha; Jesús Salvador y Edi; Eugenio Torres, Oziel y Betty, Elmer y Lulú; Antonieta Rendón, Guadalupe Rodríguez, Alicia Barrón, Freud y Cibel, Juan Carlos y Bertha; Javier Guerrero, Mónico y Hugo Rodríguez; Mauricio Delgado, Víctor Hugo Castro, Gabriel Mejía, Sandra Figueroa, Antonio Machuca, Ana María Aragonés, Otilia Cruz, Mariana Ruvalcaba, Juan Carlos Cano, Ricardo Gamboa. Estela y Justo; Claudia B. Crevenna, así como, a los ángeles de Win Wenders que por razones obvias me pidieron conservar el anonimato.

Muchos amigos de la escuela, la lucha y la vida, intervinieron indirecta pero vitalmente en la elaboración de este trabajo a todos a ellos muchas gracias por el regalo de su ayuda silenciosa y por su comprensión respecto al anonimato que guardan en este trabajo, pero que tiene cabal reconocimiento en mi propia vida.

Alberto Betancourt Posada

Ciudad de México, noviembre de 2000.

ÍNDICE

Prólogo	I
1. Introducción: La influencia de los procesos semióticos y comunicativos en la configuración de senderos tecnológicos	2
1.1. La influencia de los procesos semióticos y comunicativos en el cambio técnico	3
1.1.1 Los objetivos de este trabajo	3
1.1.2 El proceso social de configuración de una tecnología.....	4
1.1.3 El concepto de trayectoria tecnológica	4
1.1.4 Críticas al concepto de trayectorias tecnológicas	7
1.1.5 El concepto de sendero tecnológico	13
1.1.6 La influencia de los procesos semióticos y comunicativos ..	11
1.2 La reacción en cadena y los desechos nucleares	16
1.3 Generación, manejo y depósito de desechos en el ciclo industrial nuclear	22
1.3.1 El ciclo industrial nuclear y los desechos radioactivos	23
1.3.2 Tipos de desechos y técnicas para manejarlos	25
1.3.3 La selección de las técnicas para manejar los desechos	29
1. 4. La influencia de los <i>procesos semióticos y comunicativos</i> (PSyC) en el cambio técnico	32
2. La invención de la basura nuclear 1939-1945	40
2.1 El misterio de las sustancias con un significado inestable	40
2.2 La basura radioactiva antes del uso de la reacción en cadena	42
2.2.1 Las sustancias radioactivas antes de la reacción en cadena..	42
2.2.2 El descubrimiento de los rayos X y la radiación	44

2.2.3 Usos e interpretaciones de los rayos X y la radiación	45
2.2.4 Los desechos radioactivos	48
2.3 La reacción en cadena y el debate sobre las sustancias radioactivas ...	50
2.3.1 La discusión suscitada por la invención de la reacción en cadena	50
2.3.2 Las primeras discusiones sobre los desechos nucleares	52
2.3.3 La decisión de construir la bomba	54
2.3.4 Otros senderos tecnológicos para el empleo de los desechos nucleares	56
2.4 El Proyecto Manhattan y el ciclo industrial nuclear	59
2.4.1 El proyecto Manhattan y la construcción de la bomba	59
2.4.2 El ciclo industrial nuclear y la generación de desechos	62
2.4.3 Las primeras técnicas para manejar los desechos	65
2.5 De los experimentos con ratones a los experimentos con humanos	72
2.5.1 Trinity	72
2.5.2 La decisión Truman:Hiroshima y Nagasaki	76
2.5.3 Las imágenes sobre Hiroshima y Nagasaki	78
2.5.4 La investigación sobre los desechos de Hiroshima y Nagasaki	82
2.6 Conclusiones: La invención de la basura radioactiva	85

3. La institucionalización del caos: diferencias de interpretación en el manejo de desechos nucleares (1945-1953)

3.1. La necesidad de una <i>interpretación generalizada</i> de los desechos nucleares	89
3. 2. ¿Cómo utilizar la energía que mueve al universo?	92
3.2.1 La presentación en público de la energía nuclear	92
3.2.2 La discusión sobre los usos de la reacción en cadena	94
3.2.3 Los objetivos de la industria nuclear	97
3. 3. La generación masiva de desechos nucleares	102
3. 4. Diferencias de interpretación respecto a los desechos	109

3.4.1. Las diferentes interpretaciones sobre los desechos	109
3.4.2 La Operación Crossroad	119
3.5. La institucionalización del caos	119
3.5.1. El manejo de los desechos	119
3.5.2. La primera tentativa de construir una <i>interpretación</i> <i>generalizada</i>	123
3.5.3 La creación de la Rama Sanitaria	126
3.6 Conclusiones. La necesidad de una <i>interpretación generalizada</i> permaneció parcialmente insatisfecha.....	129

4. Interpretación y rediseñamiento de la tecnología para el manejo de los desechos radioactivos 1953-1970

4.1. Producción de signos y cambio técnico en el manejo de desechos radioactivos	133
4.2. Características del ciclo industrial y generación desechos radioactivos	134
4.2.1 Los objetivos de la industria nuclear	134
4.2.2 El ciclo nuclear	137
4.2.3 El manejo de los desechos	140
4.3 El impacto de los desechos generados por explosiones nucleares.....	145
4.3.1 Características generales de las pruebas nucleares	145
4.3.2 Las pruebas nucleares realizadas en el Pacífico	147
4.3.3 Las pruebas nucleares realizadas en territorio estadounidense	152
4.3.4 Sotaventos y manchas calientes	154
4.3.5 El Tratado de Prohibición de Pruebas	160
4.3.6 Pruebas nucleares subterráneas	162
4.4 El caso de los desechos mineros	164
4.4.1 Características generales de los desechos mineros	164
4.4.2. El peligro provocado por los desechos de Grand Junction	166

4.4.3 Modificaciones en el manejo de desechos mineros	167
4. 5 El caso de Rocky Flats, Colorado	168
4.5.1 La fabricación de esferas de plutonio	168
4.5.2 El segundo incendio de Rocky Flats	169
4.5.3 La reacción de la sociedad	170
4.5.4 La modificación de las técnicas para el manejo de los desechos	172
4.6 Conclusiones: La configuración de una tecnología como resultado de la interacción comunicativa entre diferentes actores sociales	174

5. La influencia de la comunicación en el rediseñamiento de una tecnología 1970-1980	177
5. 1. La influencia de la comunicación en el cambio técnico	178
5.1. 1 Procesos de comunicación y rediseñamiento de una tecnología	178
5.1.2 Los ciclos de comunicación de la industria nuclear	180
5. 2. El primer ciclo de comunicación (1970-1973)	181
5.2.1 El 1° mensaje de la CEA	181
5.2.2 La respuesta de la sociedad	186
5.3. El segundo ciclo (1974-1976)	192
5.3.1 El mensaje de la AIDE	192
5.3.2 La respuesta de la sociedad	196
5. 4 El tercer ciclo (1977-1979)	199
5.4.1 El tercer mensaje de las autoridades	199
5.4.2 La respuesta de la sociedad: El enemigo público número uno	201
5. 5 El cuarto ciclo: Del autoritarismo a Three Miles Island	203
5.5.1 El cuarto mensaje: Three Mile Island	203
5.5.2 La respuesta de la sociedad: La nueva ley	206
5.6 Conclusiones: Recepción y rediseñamiento de artefactos tecnológicos	209

6. Cultura material y renovación del complejo industrial nuclear 1980-1989	211
6. 1.- ¿Cómo surgió el reto tecnológico más caro y duradero de la historia?.....	212
6. 2.- La contrarrevolución ambiental y la "salud de los negocios" en la era de Ronald Reagan	215
6.2.1 El sabotaje a la legislación ambiental	215
6.2.2 Algunas de las prácticas tradicionales	219
6.2.3 La Ley Sobre la Política de Desechos Nucleares	221
6. 3.- La catástrofe que modificó la correlación de fuerzas	223
6.3.1 Los problemas técnicos	223
6.3.2 La incertidumbre provocó descontento entre los empresarios.....	224
6.3.3 La inconformidad de los trabajadores	226
6.3.4 Accidentes y descontento popular	228
6. 4.- ¿Cómo fue que la industria nuclear "quedó unida al resto del mundo"?	230
6.4.1 La discusión sobre los desechos combinados	230
6.4.2 La posición del Congreso en el conflicto	231
6.4.3 El accidente de Chernobyl	234
6. 5.- El establecimiento de parámetros ambientales en la industria nuclear y el nacimiento de un desafío tecnológico milenarío	236
6.5.1 El impacto de Chernobyl en el manejo de los desechos.....	236
6.5.2 La renovación del complejo nuclear militar	237
6.5.3 Nuevos accidentes vuelven a cambiar la correlación de fuerzas	239
6. 6. ¿Alguien sabe por cuánto tiempo será peligrosa esta instalación nuclear?	242
6.6.1 Los planes para construir depósitos federales	242
6.6.2 La polémica sobre Handford	243
6.6.3 La batalla sobre Yucca Mountain	246
6.6.4 El basurero de Sierra Blanca, Texas	249

6.6.5 El Proyecto Piloto de Aislamiento de Basura	250
6.6.6 Los depósitos fueron el resultado de una negociación	251
6. 7. La contradictoria renovación del complejo industrial nuclear	251

7. La formación de códigos tecnológicos y la limpieza del complejo nuclear militar 1989-1997 254

7.1.- ¿Con qué problemas, soluciones y objetivos fue asociada la basura radioactiva	255
7. 2.- El Almirante Watkins crea un código para tratar la basura	200
7.2.1 El complejo nuclear reorienta sus actividades	260
7.2.2 El almirante escoge los problemas prioritarios	262
7.2.3 El almirante establece las necesidades básicas	263
7.2.4 Las soluciones técnicas propuestas por el almirante	263
7.2.5 Los objetivos políticos del almirante	264
7. 3. Los investigadores independientes elaboran un código alternativo	265
7.3.1 El seminario planteó problemas muy diferentes a los del almirante Watkins.....	265
7.3.2 Soluciones tecnológicas alternativas	270
7.3.3 Otro tipo de objetivos políticos	272
7.3.4 Los contrastes entre el código propuesto por Watkins y el seminario.....	274
7. 4. El Programa Cerrando el Círculo del Átomo	274
7.4.1. La adecuación del complejo nuclear a la Post-Guerra Fría ...	275
7.4.2 El programa Cerrando el Círculo del Átomo	275
7.4.2.1 La situación de los distintos tipos de basura	276
7.4.3 Las soluciones técnicas	278
7.4.4 Construir instituciones democráticas	283
7. 5. La formulación de un código alternativo	285
7.5.1 Los problemas identificados por los investigadores	

independientes	285
7.5.2 Las necesidades sugeridas	286
7.5.3 Las soluciones técnicas	288
7.5.4 Los objetivos políticos	290
7.5.5 Características fundamentales del código alternativo	291
7.6 El proceso social de configuración de un sendero tecnológico	292
8. La desinvencción de la basura nuclear	298
8.1 Introducción: tratamiento y decontaminación de desechos nucleares	299
8.2. ¿Es posible desinventar la basura nuclear?	300
8.2.1 La invención y desinvencción de una tecnología	300
8.2.2 Invención y desinvencción de la basura nuclear	305
8.3.- Tecnología de vanguardia en el manejo de la basura nuclear y labores de limpieza ambiental	307
8.3.1 La desinvencción material de la basura nuclear	307
8.3.2 El manejo de la basura	309
8.3.3 Basura de alto nivel	310
8.3.4 Basura Transuránica	312
8.3.5 Basura de bajo nivel.....	314
8.4. Una estrategia para desinventar las Sustancias Radioactivas de Alta Peligrosidad (SRAPS)	316
8.4.1 Una estrategia para desinventar la basura nuclear	316
8.4. 2 La necesidad de suspender la generación de nuevos desechos	317
8.4.3 El desmantelamiento del régimen de excepción de la industria nuclear	319
8.4.4. La necesidad de investigar el impacto de los desechos	320
8.4.4.1 La salud de los trabajadores de la industria nuclear	320
8.4.4.2 Los daños a comunidades locales	323

8.5. Reorientación de las técnicas para manejar las SsRAP	325
8.5.1 Criterios generales para reorientar el manejo de las SsRAP	325
8.5.2 Los desechos radioactivos de alto nivel	326
8.5.2.1 Handford ilustra los errores del DE	326
8.5.2.2 Restablecer las prioridades y reorientar las técnicas en Handford	327
8.5.2.3 El depósito de los desechos de alto nivel	328
8.5.3 La basura transuránica (TRU)	330
8.5.4 La basura radioactiva de alto nivel	332
8.5.4.1 ¿Qué basura debe clasificarse como de bajo nivel?	332
8.5.4.2 Los depósitos de Desechos Radioactivos de Bajo Nivel	334
8.6. ¿Qué debe hacerse con el combustible en grado nuclear obtenido del desmantelamiento de las bombas?	336
8.6.1 El desmantelamiento de cargas nucleares	336
8.6.2 Cómo procesar el combustible en grado nuclear	338
8.6.3 Combustible, proliferación y generación de energía eléctrica	341
8.7. Conclusiones: alcances y limitaciones de la desinversión de la basura nuclear	343
Anexos	346
Bibliografía	365

PRÓLOGO

Esta tesis aborda un problema que resulta a la vez fascinante y repulsivo¹: las técnicas empleadas para manejar y depositar las sustancias radioactivas, generadas por el empleo de la reacción en cadena. Es fascinante porque ha involucrado a algunos de los mayores talentos de diversas disciplinas. Pero es repulsivo porque además de constituir la huella ambiental de la carrera armamentista nuclear, ha implicado asuntos tan tenebrosos como las tragedias de Hiroshima y Nagasaki, la colocación de instalaciones peligrosas con criterios discriminatorios, la realización de más de dos mil pruebas nucleares e inclusive y de manera casi constante la realización de experimentos con humanos.

El tema fundamental de esta tesis es: la influencia que han ejercido diversos *procesos semióticos y comunicativos* en la configuración de la tecnología empleada para manejar y depositar las citadas sustancias. La investigación se concentra en el caso de la industria nuclear militar estadounidense durante el período 1939-1997. Sin embargo, como podrá apreciarse a lo largo de esta obra: el tema se encuentra íntimamente vinculado al caso de la industria nuclear civil.

Este texto puede leerse desde dos perspectivas diferentes: La primera está construida con base en una serie de preocupaciones relacionadas con la historia de la técnica y particularmente con la influencia que han ejercido distintos procesos semióticos y comunicativos en la configuración de una línea de "evolución" de una tecnología. La segunda perspectiva se basa en la necesidad de un detallado estudio sobre las diversas técnicas que se han empleado para

¹ Con esta frase inicia su libro *-Stalin and the bomb-* David Holloway La recupero en este texto porque sintetiza la atracción que ejercen los temas relacionados con la carrera armamentista nuclear.

manejar y depositar las sustancias radioactivas, generada por la ausencia tanto en inglés como en español de una historia general sobre el tema de los desechos radioactivos generados por el uso de la reacción en cadena. Por esta razón considero que después de algunos ajustes y revisiones esta obra sería susceptible de ser publicada en inglés para cubrir la enorme laguna sobre un problema cuya mera estabilización se ha planificado en principio que requerirá de cuando menos 250 mil millones de dólares y el esfuerzo de varias generaciones de tecnólogos.

Desde el punto de vista de la historia de la técnica este trabajo intenta responder a dos preguntas fundamentales en la comprensión del cambio técnico: ¿cómo se configura un *sendero tecnológico*²? y ¿qué papel juegan los procesos semióticos y comunicativos en dicha configuración?. En ese sentido, el presente trabajo se inscribe en el marco de la polémica sobre el tema de las *trayectorias tecnológicas*, en la que han participado numerosos historiadores de la ciencia y la tecnología, entre los cuales ocupan un lugar destacado Wibie Bijker, David Gugerli, Nathan Rosenberg y Donald Mac Kenzie. Estos y otros autores han abordado el tema a través de una revisión crítica puntual y propositiva que permite afinar los instrumentos conceptuales para el análisis de los procesos de destrucción/creación de la tecnología que forma parte inherente del capitalismo y la modernidad.

Como estudio de caso, este trabajo analiza detalladamente la sucesión de técnicas que se han empleado para manejar y depositar más de mil sustancias radioactivas cuya peligrosidad y difícil manejo constituirán la perniciosa huella

² El concepto es definido ampliamente en el capítulo 1 de esta obra.

ambiental de la carrera armamentista nuclear que serán padecidos por numerosas generaciones de seres humanos.

Esta tesis es el resultado de una investigación realizada entre 1994 y 1998 período durante el cual recibí la invitación de Alejandro Nadal para formar parte del equipo de investigadores del Programa de Ciencia, Tecnología y Desarrollo de El Colegio de México. Durante los cuatro años que duró la elaboración de esta tesis tuve la oportunidad de realizar una corta pero fecunda estancia de investigación en la ciudad de Washington D.C. Esta visita me permitió consultar el Archivo Histórico del Departamento de Energía de Estados Unidos e iniciar una serie de contactos y amistades que me permitieron acceder permanentemente a una gran cantidad de fuentes primarias, esenciales para el tratamiento del tema. El corpus documental que pude consultar se basó fundamentalmente en los materiales desclasificados por el programa *Openees*. La mayoría de estos documentos contienen información que, en la mayoría de los casos, había permanecido como *secreto de estado* durante medio siglo. La mayor parte de estos documentos fueron localizados durante mi estancia de investigación y más tarde a través de Internet. Posteriormente solicité dichos documentos al Archivo Histórico del Departamento de Energía, institución que me los envió por correo. De esta suerte tuve la oportunidad de consultar una gran cantidad de fascimilares de los documentos originales.

Inscrita dentro de los Estudios para la Paz y orientada a contribuir en la desinversión de las armas nucleares, esta investigación comenzó bajo la hipótesis de que aún en el más optimista de los escenarios sobre el futuro (el desmantelamiento parcial o total de los arsenales nucleares) el combustible

nuclear representaría un problema irreversible y grave durante muchas generaciones de seres humanos. Casi inmediatamente después de iniciada la investigación descubrí una amplia literatura científica sobre la posibilidad de disenriquecer el material fisionable (dentro de la cual los textos de Hippel (1985) ocupa un lugar fundamental). Sin embargo, me di cuenta de que aun cuando técnicamente era posible el disenriquecimiento del material fisionable, existía una serie de preguntas clave respecto a dicho combustible nuclear: ¿qué se podría y se debería hacer con el material disenriquecido?, ¿debería utilizarse en reactores civiles para la generación de energía eléctrica?, ¿debería almacenarse en alguna forma fácil o difícilmente recuperable en el futuro? o ¿debería considerarse como parte de los desechos y depositado en una forma no recuperable?.

Paralelamente, conforme me adentré en el tema de los desechos nucleares advertí que su volumen, variedad, letalidad y difícil manejo, permanecería como un grave riesgo durante plazos que van desde fracciones de segundo hasta millones de años. Adicionalmente cobré conciencia sobre lazos que unen la historia de la industria nuclear militar con la civil así como las similitudes respecto al problema de sus deyecciones.

Esta primera etapa de la investigación me permitió descubrir que el tema de los desechos es crucial para desinventar las armas nucleares.

A reserva de que toda historia esta sujeta a múltiples lecturas, las cuales obviamente no están determinadas por el autor, considero que esta tesis ofrecerá una importante reflexión metodológica para los historiadores de la ciencia y la tecnología, y puede ofrecer un interesante material de referencia para ingenieros,

políticos, especialistas en energía y sobre todo para diplomáticos interesados en que México recupere su tradición diplomática en favor del desarme nuclear, que ha sido erróneamente abandonada a partir de los gobiernos de Carlos Salinas y Ernesto Zedillo.

Alberto Betancourt

Ciudad de México, enero de 1999.

INVENCION Y DESINVENCION DE LOS DESECHOS NUCLEARES

1939-1997.

LA HUELLA AMBIENTAL DE LA CARRERA ARMAMENTISTA

TESIS PARA OPTAR POR EL GRADO DE MAESTRÍA EN HISTORIA DE MÉXICO DE

ALBERTO BETANCOURT POSADA

CAPÍTULO 1
INTRODUCCIÓN

**LA INFLUENCIA DE LOS PROCESOS SEMIÓTICOS Y COMUNICATIVOS EN LA
CONFIGURACIÓN DE UN SENDERO TECNOLÓGICO**

1. 1 La influencia de los procesos semióticos y comunicativos en el cambio técnico

1. 1. 1 Los objetivos de este trabajo

El objetivo de este trabajo es estudiar la influencia de los procesos semióticos y comunicativos en la generación, tratamiento y depósito de los desechos nucleares. El caso seleccionado es el de la industria nuclear estadounidense.¹ El periodo comprendido por esta investigación cubre los años que van de 1939 a 1997. Aunque se aborda el caso de la industria nuclear civil, la investigación se centra fundamentalmente en la industria nuclear militar y por lo tanto en la huella ambiental dejada por la carrera armamentista nuclear. La investigación atiende tres temas principales: las relaciones entre los desechos y el ciclo industrial nuclear; las tecnologías utilizadas para manejar y depositar los desechos; y las condiciones para desinventar los desechos nucleares.

El presente capítulo comienza con una exposición sobre una serie de conceptos fundamentales para el análisis del cambio técnico; posteriormente aborda el tema de la influencia que ejercen los *procesos semióticos y comunicativos* en la configuración de un *sendero tecnológico*; plantea algunas de

¹ El problema de los desechos involucra directamente a cincuenta y cuatro países poseedores de tecnología nuclear, e indirecta pero gravemente a muchos de sus países vecinos y en general a toda la comunidad planetaria por sus efectos globales. Además en muchos países los problemas provocados por los desechos son aún mayores. En Rusia, por ejemplo, existe un volumen de desechos similar al de EU pero con el agravante de que hubo un menor control social sobre la industria nuclear y en algunos aspectos del ciclo nuclear se usaron técnicas más atrasadas. En Francia, por citar otro caso, la industria nuclear recurrió más frecuentemente al llamado ciclo largo de la industria nuclear, por lo cual generó una mayor proporción de plutonio y productos de fisión en comparación con otros países. En el caso de los países poseedores de armas nucleares éstos han afectado gravemente a terceros países. Por ejemplo Zaire, Brasil y Canadá tienen problemas de desechos por la extracción del uranio, utilizado para la fabricación de bombas estadounidenses. Argelia, Australia y varios países del Pacífico Sur, están gravemente contaminados por la

la nociones fundamentales para entender el uso de la reacción en cadena; explica algunas de las características de las sustancias radioactivas; y finalmente el último párrafo ofrece algunas consideraciones sobre la metodología empleada para analizar la influencia de los procesos semióticos y comunicativos en la configuración de la técnicas empleadas en la generación, tratamiento y depósito de las sustancias radioactivas. Este último párrafo ofrece también una especie de mapa sobre los temas y la periodización de los capítulos subsecuentes.

1.1.2 El proceso social de configuración de una tecnología

Las enciclopedias acostumbran narrar el cambio técnico como una serie natural, de artefactos que se suceden unos a otros. Como si el primero de ellos condujera automáticamente (y en función exclusivamente de ciertos requerimientos técnicos), al segundo. Como si una tecnología precedente llevara a otra subsecuente, con la misma naturalidad que la primavera sucede al invierno. Como si el refrigerador fuera el sucesor natural de la hielera, el automóvil de la carreta y la computadora del ábaco.

1.1.3 El concepto de trayectoria tecnológica.

Afortunadamente desde hace varias décadas y desde diferentes perspectivas los historiadores de la ciencia y la tecnología han comenzado a desconfiar sobre esos nexos *invisibles* y *naturales*, utilizados en las enciclopedias

detonación de bombas. Europa Oriental sufrió innumerables daños económicos y ambientales por

para presentarnos una sucesión de artefactos que conducen a una invención definitiva.

Un momento importante de esta revisión lo constituyeron los estudios realizados por Joseph Schumpeter entre 1930 y 1950 quien basándose en la investigación realizada por Carlos Marx, explicó el cambio técnico como una característica inherente del capitalismo y explicó la evolución de la tecnología como un resultado de la competencia intercapitalista que da lugar a un proceso de destrucción/creación de tecnologías². Al estudiar el proceso de introducción de innovaciones en la estructura industrial, Schumpeter analizó la necesidad de jerarquizar el impacto de distintas innovaciones. Nadal (1991) explica que según Schumpeter el concepto de innovación básica (IB) se usa para describir "aquellos procesos técnicos capaces de transformar la estructura productiva, reorganizar la matriz de relaciones interindustriales y abrir nuevos espacios económicos"³.

La introducción de innovaciones básicas crea una serie de desequilibrios tecnológicos: por ejemplo la mecanización en la fabricación de tela provocó el "hambre del hilado"; el empleo de la máquina de vapor en los barcos provocó la necesidad de modificar los cascos de las embarcaciones; la automatización requirió la introducción de instrumentos electrónicos en muy diferentes campos, etc. Por esta razón, una innovación básica requiere de una serie de innovaciones secundarias que permitan su pleno aprovechamiento. La necesidad de corregir los desequilibrios provocados por una innovación básica provocan que éstas últimas

el accidente de Chernobyl, etc.

² Aunque compartimos la concepción de Jean Jacques Salomon en el sentido de que la tecnología consiste en la aplicación de principios científicos en la producción industrial, en este texto utilizamos el término tecnología para referirnos a las técnicas que son resultado de esa simbiosis.

³ Nadal (1991 p.25).

pasen por una serie de fases que componen una trayectoria tecnológica: la invención, la experimentación y desarrollo, la difusión y la obsolescencia. Esta última fase se presenta cuando la innovación básica comienza a arrojar rendimientos decrecientes. Es decir cuando la introducción de innovaciones secundarias resulta cada vez más costosa hasta el punto en que resulta más económico reemplazar la innovación básica que se ha agotado por una nueva innovación básica.

Para algunos autores la noción de trayectoria tecnológica es el régimen definido por el formato de una innovación básica

Según Nadal (1991) "la noción de trayectoria puede entenderse como el sendero definido por la serie de innovaciones menores que permiten realizar el potencial de una innovación básica en una misma aplicación o que permiten aplicar el principio de la innovación básica en la solución de otros problemas tecnológicos"⁴.

A pesar de las enormes ventajas del concepto de trayectoria tecnológica como un instrumento conceptual que permite jerarquizar las innovaciones y periodizar un formato mecánico, el concepto ha sido cuestionado desde distintas perspectivas.

⁴ *Ibid.* p. 30

1.1.4 Críticas al concepto de trayectorias tecnológicas.

A pesar de que el concepto de trayectorias tecnológicas significó una importante sistematización de los estudios sobre el cambio técnico y ofreció un importante aparato conceptual, dicha categoría ha recibido importantes críticas desde distintas perspectivas. Diversos autores han cuestionado dicho concepto por variadas razones. Aunque aquí no podemos ofrecer una historia completa sobre la polémica acerca de la legitimidad y utilidad del concepto, mencionaremos algunas de las principales objeciones que ha recibido.

En primer lugar Nathan Rosenberg ha cuestionado la falta de precisión en la terminología empleada por Joseph Schumpeter y muchos de sus seguidores. Schumpeter estableció una clara diferencia entre invención, innovación e imitación. En la mayoría de los casos una invención requiere de mucho trabajo y adaptaciones para que pueda ser aprovechada económicamente. Sin embargo, el plazo necesario para que una invención se convierta en una innovación varía considerablemente entre un caso y otro. Por ejemplo, entre la invención de la lámpara fluorescente y su aprovechamiento comercial transcurrieron 59 años mientras que el DDT requirió de solamente 3. Sin embargo es muy difícil precisar cuando ha sido inventado algo y aún en caso de que esa cronología fuera muy precisa, subsistiría una pregunta muy importante -que no es cabalmente tomada en cuenta en el concepto de trayectoria tecnológica: ¿cuáles son los factores que provocan que algunas invenciones se conviertan en innovaciones y otras no?.

Si los empresarios, siempre tienen a la mano, muchos inventos o líneas de investigación susceptibles de arrojar innovaciones y si en la mayoría de los casos

cuentan con “un amplio rango de técnicas con las que se podrían diseñar [innovaciones] a partir de los conocimientos existentes”⁵ ¿que es lo que los lleva a seleccionar una u otra posibilidad?. Esta pregunta ha sido resuelta de diversas maneras, pero una muy común consistió en asumir que existían tecnologías inherentemente superiores.

Al respecto, Mac Kenzie (1996) ha planteado “que la idea de que el cambio tecnológico es resultado solamente del {progreso} y que ciertas tecnologías triunfan (sobre otras) simplemente porque son mejores o más eficientes, está aún ampliamente difundida. Esto implica aunque en menor medida (que en otras versiones más antiguas) una versión más sofisticada del determinismo tecnológico –la idea de que existen trayectorias tecnológicas naturales continua siendo muy popular entre los economistas”⁶. Sin embargo la idea de que existen tecnologías inherentemente mejores no resiste un análisis riguroso. No existen trayectorias tecnológicas basadas en la superioridad inherente. Nosotros –afirma Mac Kenzie “siempre deberíamos preguntarnos ¿mejor para quién?. Diferentes personas pueden ver una tecnología de diferentes maneras, asignarles diferentes significados, esperar diferentes cosas de ella, evaluarla de diferente manera”⁷. Por ello es muy importante preguntarse ¿cómo se configura una tecnología?, ¿quiénes deciden su conveniencia?. El éxito o el fracaso de los artefactos depende de una intensa actividad social de grupos sociales que logran imponer su punto de vista y que logran diseñar sistemas de autocomprobación⁸.

⁵ (Rosenberg, 1976 p. 65)

⁶ (Mac Kenzie, 1996, p. 5)

⁷ Ibid. p. 6

⁸ (Mac Kenzie, 1996, p 5).

Desde otra perspectiva Bijker (1992) ha planteado que las tecnologías no se inventan de una vez y para siempre, sino que se encuentran sujetas a un proceso de rediseñamiento en el que se ven involucrados distintos sujetos sociales que defienden sus intereses y que se ven obligados a negociar con otros actores sociales. Por esta razón, la idea de que existen fases claramente definidas de una trayectoria tecnológica resulta frecuentemente inexacta. Un artefacto, un instrumento o un proceso industrial pueden regresar varias veces al laboratorio antes de adoptar una forma definitiva (si es que alguna vez adoptan una forma permanente)

Asimismo Juan José Saldaña ha cuestionado en sus trabajos sobre la ciencia nacional, el hecho de que una innovación pueda ser la misma si se traslada a contextos diferentes, donde el saber local, las condiciones económicas e inclusive las costumbres autóctonas obligan a un proceso de *domesticación* en el que los conocimientos, los procedimientos y los productos tecnológicos provenientes de otro contexto obligan a realizar ajustes importantes que transforman radicalmente la invención original⁹.

Desde otro punto de vista David Gugerli ha señalado que resulta difícil establecer un criterio preciso respecto a las innovaciones básicas y secundarias. Por ejemplo, si una computadora se conecta en red o se miniaturiza, significa cosas muy diferentes a una vieja máquina aislada o de tamaño gigante. En estas circunstancias la terminología shumpeteriana ofrece importantes problemas para saber si Internet es una innovación básica o secundaria.

⁹ Saldaña, La ciencia nacional, México. Qipu.

En suma el concepto de trayectoria tecnológica necesita ser sometido al mismo proceso de revisión crítica que otros conceptos de la economía que han sido importados acríticamente a la historia de la ciencia y la tecnología¹⁰.

1.1.5 El concepto de *sendero tecnológico*

Debido a que el debate sobre el concepto de trayectorias tecnológicas ha revelado numerosos aspectos en los cuales resulta vulnerable o ineficiente, a lo largo de este trabajo utilizaremos un concepto alternativo y aún provisional, para analizar sistemáticamente el proceso de destrucción/creación de tecnologías: la categoría de *sendero tecnológico*.

El término implica en primer lugar, la idea de que cada presente (tecnológico) contiene muchos **futuros posibles**. Como ha señalado Rosenberg (1976) un mismo problema puede resolverse recurriendo a un gran variedad de opciones posibles, que incluyen todas las técnicas disponibles y existentes, más todas aquellas accesibles mediante la investigación y desarrollo. Paralelamente una misma invención (la demostración de factibilidad de un instrumento, procedimiento o producto tecnológico) o una innovación (su aplicación en la producción) pueden utilizarse de muchas maneras diferentes. Por ejemplo, la exitosa experimentación de la reacción en cadena pudo haberse utilizado (como explicaremos infra) para fines tan diversos como: producir materiales superresistentes, irradiar alimentos, calentar agua o propulsar aviones¹¹. Aunque

¹⁰ Ibid.

¹¹ Es difícil imaginar que alguna de estas aplicaciones hubiera provocado desequilibrios tecnológicos más complicados que los generados por la construcción de una bomba que requirió la

por circunstancias que no tienen que ver con ventajas inherentes, finalmente se utilizó para producir una bomba de nuevo tipo. Por lo tanto, puede afirmarse que en principio una tecnología precedente puede evolucionar en muchas direcciones subsecuentes.

En segundo lugar el concepto de sendero tecnológico lo usamos aquí para destacar que un invento o una innovación, no son inventadas de una vez y para siempre, sino que son sometidas a un proceso de rediseñamiento durante el cual se les añaden o suprimen determinadas características. Un invento o una innovación puede volver varias veces al laboratorio o al taller para ser rediseñadas. Sobre este caso resulta muy interesante el estudio de Bijker (1994) sobre el rediseñamiento sufrido por la bicicleta a lo largo del siglo XIX.

En tercer lugar, el concepto de sendero tecnológico implica también que el destino de una invención o incluso de una innovación, puede ser desde su olvido hasta su aplicación a gran escala. Si ocurre una cosa o la otra, depende de la actividad desplegada por los distintos actores relevantes -de una o varias comunidades tecnológicas- para validar o rechazar, desarrollar o archivar, y estimular o sabotear, su desarrollo. Como afirman Bijker y Law: "Los artefactos encarnan transacciones y compromisos... En particular, materializan acuerdos, experiencias, mañas, prejuicios profesionales, posibilidades y limitaciones, sociales, políticas, psicológicas y económicas... Y eso significa que las tecnologías

invención de numerosos procedimientos industriales, el diseño y la construcción de una gran cantidad de instrumentos que habían sido producidos nunca antes y la participación de más de cien mil personas.

desarrolladas actualmente podrían en principio adoptar diferentes formas, estructuras y tamaños" ¹².

Adicionalmente el proceso social mediante el cual se configura la línea "evolutiva" que seguirá una tecnología es el resultado de una serie de **factores heterogéneos** (de orden político, económico, cultural, geográfico, etc.) y una **constelación de situaciones contingentes** (integrada por variables tan diversas, como la capacidad de persuasión de un científico, la habilidad de un empresario o la destreza política de un inventor)¹³.

En suma, un sendero tecnológico es el resultado de un complejo proceso social en el que se configura la línea de evolución de una tecnología durante un período determinado. Es asimismo el resultado "evolutivo" de un proceso compuesto por una serie de factores heterogéneos, entre los cuales juega un papel fundamental la actividad desplegada por una red de actores que conforman una comunidad tecnológica.

De esta manera mientras una trayectoria tecnológica puede representarse mediante una curva cuya apariencia está determinada por los rendimientos crecientes o decrecientes; un sendero tecnológico tendría que representarse mediante un diagrama de flujo en el cual A puede evolucionar hacia la línea B, C o D. Pero una vez que la línea evolutiva haya sido B, C o D cualquiera que haya resultado la línea que haya predominado, esta podrá evolucionar hacia E, F o G. En donde cualquiera de las líneas puede ser una innovación básica o secundaria.

¹² (Bijker, 1992, pp. 8-9).

¹³ La actividad social, el carácter contingente y la heterogeneidad de los factores que configuran el destino de una innovación han sido tratados por diversas corrientes historiográficas. Uno de los autores más importantes sobre el tema es sin duda (Latour, 1987).

1.1. 6 La influencia de los *procesos semióticos y comunicativos*

La configuración de un determinado sendero tecnológico, depende en buena medida de una serie de procesos semióticos y comunicativos. Es decir, todas aquellas prácticas desarrolladas por la sociedad para otorgarle un cierto significado a las innovaciones y para comunicar ese significado a otros sectores de la sociedad. Si una innovación, pasa al "Museo de Artefactos Técnicamente Viables Pero Poco Exitosos Socialmente", o si por el contrario, se desarrolla, se aplica y se difunde, depende en buena medida, de la habilidad de los distintos grupos sociales para otorgarle un significado a una innovación y de su capacidad para persuadir a otros grupos de aceptar ese significado.¹⁴

Los procesos semióticos consisten en un conjunto de actividades encaminadas a producir signos. Un signo es la utilización de algo como representación de otra cosa, la utilización de algo presente como referente de algo ausente, es la utilización de cualquier cosa materialmente presente, para evocar algo ausente.¹⁵ Por lo tanto un signo requiere de tres características, un sujeto

¹⁴ La corriente llamada Programa Empírico del Relativismo, comenzó a preocuparse por estas cuestiones en los años setentas. Según Bijker y Law esta corriente logró "mostrar que un hallazgo científico puede ser interpretado en más de una manera" (Bijker, op cit. p. 27).

¹⁵ "La semiótica se ocupa de cualquier cosa que pueda CONSIDERARSE como signo. Signo es cualquier cosa que pueda considerarse sustituto significante de cualquier otra cosa." La producción material requiere constantemente de procesos semióticos en los que los objetos sean convertidos en signos. Por ejemplo, en una operación tan simple como utilizar una piedra para romper una nuez, la piedra ha pasado por una serie de etapas durante las cuales a) un ser pensante ha establecido una nueva función para la piedra... b) dicho ser ha DENOMINADO a dicha piedra como 'la piedra que sirve para algo c) el ser pensante esta en condiciones de reconocer la misma piedra o una piedra semejante como 'la piedra que responde a la función X". Este mismo proceso se presenta cada vez que se produce un instrumento de trabajo (Eco, 1979, pp. 31 y 58).

que establezca una correlación entre algo y otra cosa, una cosa materialmente presente o signo y una cosa ausente o significado.

El principio básico que permite identificar un signo es el de señal o huella. Una pisada puede indicar que por ahí pasó un oso. La presencia de agua en la copa de los árboles puede indicar que llovió. La huella y el agua son solo señales, son marcas de una correlación natural entre dos fenómenos, entre algo presente y algo ausente. Sin embargo cuando alguien establece la correlación pisada/oso, la señal pisada se ha convertido en un signo/presente cuyo significado/ausente es oso. Lo mismo ocurre cuando alguien establece la correlación agua en la copa de los árboles y lluvia, el agua se ha convertido en un signo y la lluvia en su significado. Por lo tanto, una señal o huella natural se convierte en un signo¹⁶ cuando alguien le otorga una función semiótica, es decir, cuando alguien (el interpretante) usa una cosa presente (el signo) para relacionarla con otra ausente (el significado).

El proceso de producción de signos es paralelo al proceso de producción material. El trabajo es en "sí mismo" -y paralelamente a la transformación material de un objeto- una actividad, encaminada a convertir una cosa en representación de otra. El trabajo material es también un desdoblamiento de las cosas "en sí" en lo que "pueden ser". Esa escisión transforma los meros objetos, en cosas "para nosotros", en funciones para las que "pueden servir", en nombres mediante los cuales "se les denominará". Toda poíesis o acto productivo requiere de ese desdoblamiento, en el que las cosas "en sí", son convertidas en cosas "para el

¹⁶ Charles Peirce establecía tres condiciones para que algo pudiera ser considerado como un signo: ser algo, ser algo materialmente presente capaz de evocar algo ausente y que exista alguien capaz de establecer la relación entre lo presente y lo ausente, (Liszka, 1997, p. 223).

hombre", por lo tanto, cualquier proceso de trabajo atraviesa por una fase simbólica, por una apropiación imaginaria del mundo.¹⁷

El proceso de producción de signos se complica porque la participación de diversos actores en la producción material genera la necesidad de un proceso de comunicación. Los actores (científicos, empresarios, trabajadores, etc.) del proceso de trabajo necesitan transmitir a otros, el significado que ellos le otorgan a un determinado elemento tecnológico; lo adorable o abominable, lo "útil" o inservible, lo "económico" o "costoso", o lo "ecológico" o "contaminante" que puede ser una innovación.¹⁸

Un proceso de comunicación es un proceso comunicativo que tiene como culminación una respuesta interpretativa del destinatario. "Un proceso comunicativo es el paso de una señal desde una fuente, a través de un transmisor a lo largo de un canal hasta un destinatario o punto de destino". Si el proceso comunicativo tiene un destinatario humano y requiere de una respuesta interpretativa se trata entonces de un proceso de comunicación.¹⁹

Los procesos de significación y comunicación son cruciales para el cambio técnico porque los diversos grupos identifican diferentes problemas relevantes e

¹⁷ (Dussel, 1984) El estudio de este tipo de fenómenos es muy importante para el historiador debido a que como ha señalado Noam Chomski el significado no es algo estático que se pueda mostrar en los aparadores de un museo (Chomski, 1991), es algo que posee historicidad y que puede cambiar de una época a otra. El trabajo del historiador consiste justamente en mostrar la historicidad de los significados.

¹⁸ En este trabajo hemos adoptado la postura de que un proceso de comunicación implica la participación de cuando menos dos actores y que por lo tanto debe ser un proceso intersubjetivo. Sin embargo, es importante señalar que tanto entre semiólogos, como entre comunicólogos, existe un importante debate en torno a si la comunicación debe ser intersubjetiva o no. Una corriente plantea que la comunicación puede ser meramente mecánica, de tal manera, que si un artefacto envía señales de un punto a otro de un sistema (por ejemplo, de un flotador que indica el nivel del agua en una presa, a un tablero en el cuarto de máquinas, la mera transmisión de la información de un punto a otro del sistema ya implica un proceso de comunicación. Sin embargo, otra corriente -cuya postura hemos elegido- sostiene que un proceso de comunicación requiere de una dinámica intersubjetiva en la que participen al menos dos sujetos.

incluso cuando los han identificado, "cada problema tiene diferentes soluciones".²⁰ En ese mismo sentido Mac Kenzie ha señalado que "las tecnologías tienen diferentes significados para distintos grupos sociales relevantes y consecuentemente tienen diferentes criterios de lo que significa una tecnología mejor que otra... Por ejemplo los trabajadores y sus patrones pueden estar en desacuerdo respecto a las características más deseables para una técnica de producción"²¹. Consecuentemente, la significación y la comunicación determinan, si un elemento tecnológico, pasa de la mera viabilidad técnica a su viabilidad social.

1. 2 La reacción en cadena y los desechos nucleares

En la actualidad existen 36 000 cargas²², 429²³ reactores y 90 submarinos²⁴ nucleares en el mundo. Los tres artefactos utilizan la reacción en cadena²⁵ como

¹⁹ (Eco, 1978)

²⁰ (Bijker, op cit., p. 39).

²¹ (Mac Kenzie, 1996. p.6)

²² (Arkin, 1997).

²³ (Los Álamos National Laboratory, 1998).

²⁴ La cifra es aproximada y se obtiene sumando los datos ofrecidos por Arkin (1997), (1998 a), (1998b) y de Betancourt (1997).

²⁵ Existen básicamente dos tipos de reacción en cadena: la fisión y la fusión.

La fisión consiste en la ruptura de un núcleo atómico de uranio-235 o plutonio 239. Ambos materiales son radioisótopos del uranio y el plutonio respectivamente. Un radioisótopo es un átomo de un mismo elemento químico con igual número atómico pero diferente masa, es decir con el mismo número de partículas en su núcleo, pero diferente número de partículas en el exterior del núcleo. El proceso de fisión ocurre cuando el núcleo de los radioisótopos antes mencionados absorbe un neutrón del exterior. La inclusión del nuevo neutrón rompe el equilibrio entre las cargas positivas, negativas y neutras provocando la ruptura del núcleo. La fisión del núcleo atómico tiene tres consecuencias principales: crea nuevos elementos distintos a los originales, libera grandes cantidades de energía y deja en libertad dos neutrones, éstos repiten el proceso en otros núcleos desatando un nuevo proceso de fisión y que se repetirá en cadena, dando lugar nuevas y sucesivas fisiones (Dennis, 1984). El número de neutrones liberados y provocadores de nuevas fusiones puede mantenerse constante durante varias generaciones de átomos. Para que esto suceda así, es necesario reunir una cierta cantidad de materiales fisionables que permita sostener la reacción en cadena. La cantidad mínima de materiales fisionables necesaria para que una reacción puede sostenerse se denomina *masa crítica*. Las variables que determinan la interacción nuclear (el tipo de efectos que producirá una reacción) son, el tipo de partículas involucradas y el

su fuente de energía. El uranio 235 y el plutonio 239 son los dos materiales empleados - con mayor frecuencia - como combustibles para la reacción en cadena, tanto en la industria nuclear militar como en la civil. La producción y el uso del combustible nuclear ha generado grandes cantidades de sustancias radioactivas²⁶ que han sido descargadas a la atmósfera, los mares, los ríos y los suelos de prácticamente todos los continentes del planeta durante los últimos cincuenta años. Estas sustancias permanecerán radioactivas durante plazos que van de fracciones de segundo a millones de años, por esta razón, algunas de ellas representarán un grave problema de muy larga duración.

tipo de movimiento que realizan. (Makhijani, 1995). Los elementos obtenidos por la fisión pueden ser más pesados o más ligeros que el núcleo original, pero normalmente son radioactivos, es decir tienen un núcleo atómico inestable. La energía liberada por este proceso alcanza magnitudes enormes. La fisión de una libra de combustible nuclear puede liberar más energía que la quema de 6 000 barriles de petróleo.

La fusión consiste en la integración de dos núcleos atómicos. Para que pueda realizarse un proceso de este tipo (como el que ocurre permanentemente en el Sol y otras estrellas) se requiere de temperaturas superiores a los 100 millones de grados centígrados. El proceso de fusión requiere de una primera etapa en la que se fisiónan diversos componentes primarios (elementos pesados como el uranio 235 o el plutonio 239). La fisión de estos elementos genera altas temperaturas, libera una importante cantidad de neutrones y forma una masa supercrítica. El cumplimiento de estas tres condiciones provoca la fusión de dos núcleos atómicos en un solo núcleo. Los elementos usados como componentes secundarios normalmente son dos radioisótopos del hidrógeno, el tritio y el deuterio (Makhijani, 1995).

En algunos casos, el proceso de fisión/fusión puede aprovecharse para iniciar un segundo proceso de fisión mucho más potente que el primero. Cuando esto ocurre se ha obtenido una reacción en cadena del tipo fisión/fusión/fisión..

²⁶ Las sustancias radioactivas son aquellas que tienen un núcleo atómico inestable, es decir tienden a perder partículas subatómicas. Sin embargo, estas sustancias tienden hacia la estabilidad, la cual puede alcanzarse mediante diferentes formas. Una de ellas es a través de la liberación de partículas subatómicas hasta transformarse en un elemento más ligero y por lo tanto más estable debido a que tiene un número atómico menor al original. Muchos átomos nucleares decaen (pierden elementos) mediante la emisión de rayos Alfa, Beta o Gama (Makhijani, 1995). Las emisiones Alfa son neutrones o protones liberados del núcleo original. Las emisiones Beta son electrones, neutrinos y positrones liberados del núcleo y de alguna de las distintas capas u órbitas en las que se ubican los electrones. Las emisiones Gama son fotones que escapan del átomo. Los fotones no tienen carga ni masa. Algunos tipos de fotones son luz visible, la ultravioleta, los rayos X, las microondas y las ondas de radio, (Campbell, 1991).

La utilización de la reacción en cadena, experimentada por primera vez en 1939 generó un nuevo tipo de sustancias radioactivas artificiales.²⁷ Se trata de más de mil sustancias, (entre nuevos elementos y radioisótopos de elementos ya conocidos) con diferentes vidas medias²⁸ que se encuentran en estado sólido, líquido y gaseoso. La mayoría de ellas emitirá altas dosis de radiación durante plazos muy extensos. Además casi en todos los casos, son sumamente tóxicas y muy difíciles de manejar, debido a sus emisiones de calor y radiación, su fácil dispersión en el medio ambiente y su peligrosidad para la vida humana. Aunque algunas de ellas son útiles para la fabricación de medicinas, materiales especiales o generación de baja energía, no se ha encontrado ninguna utilidad para la inmensa mayoría de dichas sustancias.

El empleo de la reacción en cadena con fines como: la investigación científica, la producción de materiales fisionables, la detonaciones nucleares, la generación de energía eléctrica, la fabricación de radioisótopos útiles y la propulsión de submarinos, ha generado estas sustancias en grandes cantidades.²⁹ Una parte considerable de éstas ha sido dispersada -intencional o accidentalmente- en el medio ambiente y se ha depositado en suelos, aguas

²⁷ Aunque las sustancias radioactivas han existido desde hace millones de años y eran conocidas desde finales del siglo XIX, el uso de la reacción en cadena, cambió cualitativa y cuantitativamente este tipo de sustancias porque produjo elementos con número atómico mayor al uranio (92) que no existían antes, concentró en un solo lugar sustancias que estaban dispersas en diversos lugares y aumentó considerablemente el volumen de una gran variedad de radioisótopos que eran muy escasos en la naturaleza.

²⁸ El concepto de vida media se refiere al tiempo empleado por una sustancia para reducir a la mitad la intensidad de sus emisiones radioactivas.

²⁹ Aunque existen otras fuentes generadoras de desechos radioactivos como son los aceleradores de partículas y la radiación natural, la reacción en cadena es la principal fuente de generación de desechos. Por ejemplo, más del 89.8 % de los desechos radioactivos de bajo nivel provienen de la generación de energía eléctrica y la fabricación de bombas mediante el uso de la reacción en cadena (U.S. Council for Energy Awareness, 1993 p. 7).

subterráneas y superficiales, organismos vivos y seres humanos.³⁰ Otra parte de los desechos radioactivos se encuentra almacenada en las piscinas de los reactores o en depósitos construidos específicamente para mantenerlas aisladas. Tanto en el caso de las sustancias dispersadas en el medio ambiente como en el de aquellas que han sido colocadas en depósitos provisionales o permanentes, su peligrosidad y difícil manejo han provocado problemas sanitarios, económicos y políticos de tan larga duración que afectaran a muchas generaciones humanas.³¹

A pesar de los graves daños provocados por estas sustancias en la actualidad continúan generándose en grandes cantidades. Algunas de las principales fuentes de este tipo de desechos son: las actividades relacionadas con el mantenimiento de los arsenales nucleares, los reactores nucleares empleados para producir energía eléctrica, el desmantelamiento de una parte de los arsenales y las actividades de limpieza y restauración ambiental que paradójicamente también generan nueva basura.

El estudio de los desechos nucleares generados por la industria estadounidense es particularmente importante para la sociedad mexicana, por varias razones de peso. La cercanía con Estados Unidos nos hace compartir algunos de los riesgos suscitados por la basura radioactiva. El gobierno estadounidense planea construir tres depósitos de basura radioactiva en la zona

³⁰ Los efectos de estas emisiones son considerables. Por ejemplo, la dispersión de cesio 137, circonio 95, carbono 14 y estroncio 90 (el 40% de la emisiones artificiales de este siglo) ha provocado y provocará alrededor de 430 000 muertes por cáncer (la cifra tiene un margen de error de 10%) entre 1940 y el año 2000 (International Commission to Investigate the Health and Environmental Effects of Nuclear Weapons Production , 1991, p. 42).

³¹ Por ejemplo, el plutonio 239 tiene una vida media de 24 360 años. La dosis admisible de plutonio para el ser humano es de cero. Por lo tanto, si consideramos una generación humana cada treinta años, el plutonio representará un riesgo para cuando menos 812 generaciones.

fronteriza este país.³² Además, la Agencia Internacional de Energía Atómica está promoviendo contratos para la construcción de reactores, en los países en vías de desarrollo, entre los cuales se encuentra México.

Por otra parte, nuestro país ha desempeñado tradicionalmente una intensa actividad diplomática en favor del desarme nuclear y ésta requiere de un conocimiento muy preciso sobre los desechos, por su vinculación con temas como: los riesgos engendrados por la nueva etapa de la carrera armamentista (iniciada a partir de la terminación de la Guerra Fría) y el desmantelamiento de las armas nucleares. Adicionalmente existe la certeza de que México ha sido afectado por las actividades nucleares de Estados Unidos, aunque no existe la información suficiente para valorar la magnitud de los daños.³³

La historia de la generación y el manejo de estas sustancias es un auxiliar fundamental para la resolución de problemas como: establecer el carácter sustentable o dañino de la generación de energía eléctrica mediante

³² El gobierno estadounidense planea construir once basureros de desechos peligrosos en la frontera con México. Tres de ellos son depósitos de desechos radioactivos. El primero se ubica en Ward Valley, California y está ubicado a 16 kilómetros del Río Colorado, el cual como es bien sabido, nace en Rocky Mountain y desemboca en el Mar de Cortés. Los otros dos depósitos se ubican en Texas, el primero se localiza en el condado de Spofford y actualmente se encuentra en suspenso. El otro basurero se ubica en Sierra Blanca, Texas y albergará desechos provenientes de los estados de Maine y Vermont. La construcción de este último basurero fue aprobado por la Cámara de Representantes el 1° de abril de 1998 y ratificado por el Senado el 2 de septiembre.

³³ Las detonaciones atmosféricas realizadas en el campo de pruebas de Nevada Test Site generaron nubes radioactivas que en diversas ocasiones cruzaron la frontera con México. Aunque la tendencia de los vientos empujó las nubes radioactivas de Oeste a Este, el ancho de las nubes provocó que en algunos casos, éstas tocaran territorio mexicano. Además otras detonaciones realizadas en Estados Unidos, como las efectuadas en la isla East Pacific, contaminaron bancos de Atún que se internaron en el mar patrimonial mexicano. Por otra parte, durante la década de los sesenta, Estados Unidos depositó basura radioactiva en el Golfo de México. Por estas razones, el Senador mexicano Mario Saucedo propuso en una sesión de la Comisión Permanente del Congreso de la Unión, que nuestro gobierno exija al gobierno estadounidense, que el Programa Openess (cuyo objetivo es desclasificar documentos secretos, relativos a la industria nuclear) incluya la desclasificación de documentos que contengan información sobre aquellos casos, en los que México, haya sido afectado por las actividades nucleares de EU.

procedimientos nucleares³⁴; evaluar y combatir la contaminación causada por la continuación de la carrera armamentista³⁵; generar la menor cantidad posible de basura durante el desmantelamiento parcial de los arsenales nucleares³⁶; conjurar los daños ambientales causados por los desechos en miles de lugares distribuidos por todo el mundo; y revertir los perjuicios ocasionados a decenas de miles de comunidades.³⁷ También es importante para: atender a los trabajadores de la industria nuclear, cuya salud ha sido afectada en el pasado y evitarles nuevos riesgos en el futuro³⁸; indemnizar y atender a los veteranos atómicos³⁹; y

³⁴ Para hacer frente al desprestigio de la industria nuclear, causado por los accidentes de *Three Mile Island* y *Chernobyl*, la Agencia Internacional de Energía Atómica resolvió, en marzo de 1996, lanzar una campaña para mejorar la imagen de la industria nuclear. La industria nuclear es limpia - afirmaron funcionarios de la agencia - y es capaz de ofrecer una alternativa, al problema de los gases invernadero generados por la quema de hidrocarburos. Las resoluciones de la AIEA muestran dos tendencias: el traslado de los reactores a países en vías de desarrollo y la presión para desregular las actividades nucleares (mediante privatizaciones y relajamiento de las normas de operación).

³⁵ A pesar de que ha disminuido el número de armas nucleares en el mundo, la Post-Guerra fría ha sido un período caracterizado por una nueva espiral de la carrera armamentista: Por ejemplo en el caso de Estados Unidos el Programa de Administración Científica de los Arsenales está diseñando nuevos modelos de bombas de gravedad, bombas de efectos especiales, misiles, consolas de detonación, pruebas subcríticas y computarizadas, etc. (Betancourt, 1997).

³⁶ El desmantelamiento de varios miles de cargas nucleares establecido en el Tratado Start I ha generado grandes cantidades de nueva basura. Por ejemplo el desmantelamiento de la bomba nuclear realizada en la planta de Pantex, Texas ha producido grandes cantidades de basura combinada (mezcla de basura tóxica y peligrosa). Además, la gran mayoría de las instalaciones utilizadas para producir armas nucleares, no son adecuadas para desmantelarlas, ni para procesar o almacenar el material fisionable desmontado de las armas nucleares, por lo tanto -en Rusia y EU- se han tenido que construir instalaciones especiales para el desmantelamiento de bombas. Este tipo de instalaciones es altamente contaminante. Por otra parte, debido a que las cargas se encuentran dispersas en muchos lugares del planeta, su traslado a los pocos sitios donde pueden efectuarse este tipo de operaciones ha implicado riesgos ambientales adicionales. Obviamente a pesar de este tipo de problemas el desmantelamiento de armas nucleares nos parece muy positivo y consideramos que debe acelerarse.

³⁷ Por ejemplo, un estudio realizado por el Instituto Nacional del Cáncer de EU hecho público en octubre de 1997, reveló que las pruebas nucleares en la atmósfera; dispersaron alrededor de 130 millones de curies de radioactividad, mientras el accidente de Chernobyl dispersó solamente 7,3 millones. El sistemático escamoteo de información al respecto ocasionó que: ¡decenas de miles de niños estadounidenses; recibieran dosis de entre 50 y 160 rads por la ingestión de leche contaminada (National Cancer Institute, 1997). En este sentido la historia de los desechos puede ofrecer datos muy importantes para valorar los daños y encontrar las respuestas adecuadas a este tipo de problemas.

³⁸ Por ejemplo en el caso de EU el Departamento de Energía ha reconocido oficialmente la participación de entre 500 000 y 600 000 trabajadores en tareas relacionadas con el complejo nuclear militar. Sin embargo, no cuenta con los datos necesarios para valorar los riesgos a los que

finalmente, para evaluar y resolver los problemas ambientales globales (como la elevación de la dosis global de radiación en la atmósfera) ocasionados por los desechos nucleares.

1. 3. Generación, manejo y depósito de desechos en el ciclo industrial nuclear.

En 1939 la sociedad estadounidense comenzó a discutir la posibilidad de construir un ciclo industrial nuclear. Desde entonces, se tuvo conciencia de que éste generaría una gran cantidad de sustancias muy difíciles de manejar y sobre las cuales existían numerosas incertidumbres. A partir de ese momento se estableció una relación muy intensa entre el ciclo industrial nuclear y los desechos. Por una parte, el ciclo industrial generó un nuevo espectro de desechos radioactivos. Pero, por otra, la presencia de los desechos influyó en la ubicación de las instalaciones, la seguridad laboral, el diseño de los equipos y el tipo de usos al que se destinaría la reacción en cadena. Sin embargo, antes de proseguir con la descripción de los principales objetivos de este estudio es necesario describir a grandes rasgos en qué consiste el ciclo industrial nuclear, cuáles son los tipos de desechos que genera y cuáles son las técnicas empleadas para manejarlos y depositarlos.

fueron expuestos. Por ejemplo, no tiene la información necesaria, para estimar las dosis de radiación interna a la que fueron expuestos y consecuentemente el nivel de riesgo al que fueron sometidos, haciendo más difícil la determinación del tratamiento adecuado para ellos (Makhijani, 1997).

³⁹ Según la Asociación de Veteranos Atómicos, en los últimos cincuenta años, cuando menos medio millón de soldados ha sido expuesto a riesgos graves o ha padecido daños a la salud, por

1.3.1 El ciclo industrial nuclear y los desechos radioactivos

El ciclo industrial nuclear comprende diversas etapas que van desde la fabricación del combustible hasta el depósito de los desechos. A grandes rasgos el ciclo se compone de las siguientes fases: 1) extracción y molienda de uranio 2) conversión del metal de uranio en óxido o hexafluoruro de uranio 3) enriquecimiento o elevación de la proporción de Uranio 235⁴⁰ en relación con otros radioisótopos de ese material 4) fabricación de barras de combustible 5) utilización del combustible en los reactores (a partir de este momento existen muchas variables dependiendo del objetivo con el que se use el reactor: propulsión de submarinos, generación de energía eléctrica, fabricación de plutonio o investigación científica) 6) reprocesamiento del combustible quemado para recuperar residuos no utilizados de Uranio 235 y/o fabricar plutonio⁴¹ 7) nueva utilización del combustible recuperado 8) remoción de los desechos del reactor 9) procesamiento de los desechos 10) encapsulación de los desechos 11) transporte) y finalmente (2)

su participación en tareas de salvaguarda, pruebas nucleares o remoción de escombros radioactivos.

⁴⁰ El único radioisótopo de uranio que puede utilizarse para la reacción en cadena es el uranio 235. Este se encuentra en una proporción que va de 0.2 a 0.4 % en el uranio natural. Este último se compone mayoritariamente de otros radioisótopos de uranio como son el 238 y el 234. Por ello, durante la fase de enriquecimiento el uranio 235 debe concentrarse hasta alcanzar una determinada proporción, en relación a los otros radioisótopos del uranio. El nivel de concentración varía según el tipo de uso en que va a emplearse. Por ejemplo, para generar energía eléctrica en un reactor civil que utilice combustibles ligeros, el uranio 235 debe alcanzar una concentración de entre 3 y 4 % del total del uranio. En cambio para la fabricación de bombas la cifra se eleva hasta un 93% del total

⁴¹ La fisión del uranio enriquecido produce importantes cantidades de plutonio generadas como productos de fisión: El plutonio obtenido de la fisión puede separarse mediante procedimientos químicos y utilizarse como combustible en un nuevo ciclo. El llamado ciclo corto de la industria nuclear quema solamente una vez el combustible. El ciclo largo implica separar el plutonio generado durante la primera quema y utilizarlo como combustible en una segunda quema.

depósito de los desechos en alguna instalación⁴² 13) limpieza, y 14) restauración ambiental.

Cada una de las etapas del ciclo industrial nuclear, incluyendo las labores de limpieza y restauración ambiental, genera una gran cantidad y variedad de basura radioactiva.

Las fases de extracción y molienda generan, entre otras, grandes cantidades de torio 230 (con una vida media de 75 000 años), radio 226 (v.m. 1 600 años), uranio 238 (v.m. 4 460 millones de años), y cuantiosas emisiones de gas radón (v.m. 3.8 días). Debido a que el uranio 235 es el único radioisótopo que sirve para la fisión y que éste se encuentra en una proporción promedio de 0.2 en la naturaleza, el volumen de los desechos generados durante esta etapa es muy grande y contamina principalmente el agua subterránea y el aire.

La conversión en óxido o hexafluoruro de uranio y el enriquecimiento, generan grandes cantidades de uranio 238 y 234, los cuales, no pueden emplearse en el ciclo nuclear. Por lo tanto una bomba nuclear de un modelo (antiguo) que requiera 15 kilos de combustible enriquecido en grado nuclear (utilizable para armas) genera 1 500 toneladas métricas de uranio 238. Para dar una idea de la magnitud en que se han generado ambas sustancias, baste citar que en 1990 Estados Unidos almacenaba 320 000 toneladas métricas de dicho uranio en 40 000 cilindros.

La combustión del material en los reactores genera diversos *productos de fisión*. Solamente en esta fase se crean alrededor de 1000 sustancias radioactivas diferentes. Las más abundantes son el cesio 137 y el estroncio 90. Otras

⁴² Las fases 6 a 7 del ciclo nuclear pueden o no realizarse según se trate del ciclo largo o el corto.

sustancias producidas en esta etapa son el kriptón 65, el plutonio 241 y el tecnecio 99. La liberación de neutrones ocurrida durante la fisión, también puede activar (o volver radioactivos) otros materiales. Además produce cuantiosas cantidades de cobalto 60 y carbono 14. Los restos del combustible quemado permanecen radioactivos durante períodos que van de fracciones de segundo hasta millones de años.

El reprocesamiento genera grandes cantidades de basura sólida, líquida y gaseosa de muy diferentes tipos y con diversas dosis de radiación. Por ejemplo, el uso de ácidos para separar los residuos de plutonio del combustible quemado, tiene como consecuencia la generación de grandes cantidades de basura combinada (mezcla de basura tóxica peligrosa con materiales radioactivos). Este tipo de basura es muy difícil de manejar. Por ejemplo, los residuos de uranio y circonio frecuentemente presentes en la basura combinada, son altamente inflamables. Otro caso ilustrativo es la presencia de cesio 137 y estroncio 90 en los líquidos y los lodos, generados durante esta etapa. Ambas sustancias emiten grandes dosis de radiación, generan hidrógeno, se encuentran a muy altas temperaturas, son muy corrosivas y son sumamente explosivas.

1.3.2 Tipos de desechos y técnicas para manejarlos

Aunque parezca paradójico el tratamiento, transporte y depósito de los desechos también genera nueva basura. Debido a la gran variedad de técnicas empleadas para remover, tratar y depositar los desechos, abordaremos estas técnicas a lo largo de esta obra.

Las técnicas para tratar los desechos comienzan por su clasificación. Este es uno de los temas más interesantes y problemáticos que trataremos en esta obra. Por el momento nos limitamos a describir la clasificación empleada actualmente por el Departamento de Energía de los EU. Existen básicamente cinco tipos principales de basura⁴³: los residuos mineros; los desechos radioactivos de bajo nivel; los desechos radioactivos de alto nivel; los desechos transuránicos ; y los desechos combinados.

Los desechos mineros se componen fundamentalmente de radioisótopos de uranio no utilizables en el ciclo industrial nuclear y de materiales activados por contacto con esos radioisótopos. Por su concentración y composición estos desechos emiten dosis mayores a las de los mismos elementos en su estado natural. Representan el 85% de las emisiones provenientes de la radiación artificial. Hasta los años setenta los sólidos de este tipo fueron depositados en tiraderos a cielo abierto, los líquidos fueron vertidos en los ríos y los gases se dispersaron libremente en la atmósfera. Hasta 1990 existían 230 millones de toneladas métricas de estas sustancias generadas por la industria nuclear estadounidense.⁴⁴

Los desechos radioactivos de bajo nivel se componen de toda la basura no comprendida en otras categorías. Se genera en cada una de las fases del ciclo, aunque el 80% proviene del enriquecimiento, la quema de combustible y la remoción de desechos. Se encuentra en estado sólido, líquido y gaseoso. La

⁴³ La clasificación de la basura es uno de los principales problemas y lo analizaremos detenidamente más adelante, por ahora solo adelantamos algunas de las características generales de la clasificación vigente.

⁴⁴ (Makhijani, 1992, p. 21).

basura sólida comúnmente se depositó en cajas de cartón o en barriles y se enterró en trincheras. Hasta 1970 también se enterró en depósitos submarinos.

Los desechos transuránicos están constituidos principalmente por sustancias con un peso atómico mayor al uranio. Se componen de instalaciones, equipos y herramientas activadas o contaminadas durante la quema de combustible. Debido a que emite rayos Alfa normalmente es encapsulada o envuelta en algún material capaz de detener los rayos de neutrones. Como parte de esta basura emite también rayos Beta y Gamma, que se componen de partículas más pequeñas y por lo tanto más difíciles de contener, debe manejarse a distancia. Las sustancias transuránicas se encuentran en tres tipos de lugares: almacenes subterráneos donde pueden ser recuperados al disminuir sus emisiones, depósitos subterráneos (sin posibilidad de recuperarlas fácilmente) o en suelos contaminados. Actualmente existen entre 390 y 540 mil metros cúbicos de esta sustancias en EU.

Los desechos radioactivos de alto nivel se componen básicamente de sustancias que permanecen a altas temperaturas y con altas dosis de radiación, durante períodos muy variables, pero normalmente muy extensos. Aunque la duración, las dosis de radiación y el calor de las sustancias depende en parte, del tipo de reactor usado para quemar el combustible (Boiling Water Reactor o Pressurized Water Reactor), en casi todos los casos comparte algunas características similares. Las sustancias que decaen más rápidamente generan altas temperaturas y han causado accidentes como el de Three Mile Island. Para evitar esta situación dichos desechos deben ser enfriados mediante la circulación de agua. La mayor parte del combustible quemado se encuentra actualmente en la

zona de enfriamiento de los reactores llamada piscina. A principios de los noventas existían 86 800 toneladas métricas de este tipo de desechos (el dato incluye únicamente los desechos procedentes de los reactores comerciales). El Departamento de Energía ha calculado que esta cifra se incrementará a 96 000 tons. cuadradas, para el año 2020.

Los desechos combinados se producen durante diversas fases del ciclo y se compone de desechos radioactivos mezclados con otro tipo de desechos peligrosos de carácter tóxico y solvente. Se encuentran en muy diversos estados y materiales como: equipos, ácidos, soluciones utilizadas para labores de limpieza, agua para tratamiento de materiales, aceites, suelos y materiales de construcción. El Departamento de Energía ha identificado 56 000 metros cúbicos de este tipo de desechos. Debido a su variedad ha sido necesario desarrollar una gran variedad de técnicas para tratarlos y depositarlos.

El manejo de estos distintos tipos de basura requiere además de una serie de instrumentos y procedimientos universales empleados para los todos los tipos de desechos: instrumentos de dosimetría, técnicas para minimizar la generación de basura, blindajes antirradioactivos, instrumentos para operaciones a distancia, análisis de composición química, control y monitoreo de emisiones, técnicas de empaquetamiento, desarrollo de transportes con capacidad de aislamiento y construcción de depósitos.

Las técnicas utilizadas para el tratamiento y depósito de los desechos son muy variadas. Desde el depósito a cielo abierto hasta los modernos depósitos diseñados para aislar los desechos durante plazos mayores a diez mil años, las técnicas empleadas para manejar y depositar los desechos se han modificado

notablemente y han sido el centro de un debate sobre la seguridad, confiabilidad y limpieza de la industria nuclear. Para ejemplificar la complejidad de estas técnicas basta mencionar que el Departamento de Energía de Estados Unidos ha presupuestado 240 000 millones de dólares para evitar los principales riesgos provocados por estas sustancias durante los próximos 75 años.⁴⁵

1.3. 3 La selección de las técnicas para manejar los desechos

Ahora bien, prosigamos con las consideraciones sobre la forma en que esta investigación aborda el ciclo industrial nuclear y las técnicas utilizadas para manejar y depositar los desechos.

El estudio de las relaciones entre el ciclo industrial nuclear y la generación desechos y de las técnicas empleadas para manejar los desechos reveló que en ambos casos, las decisiones sobre la conformación del ciclo industrial nuclear y las técnicas para manejar los desechos radioactivos, se realizaron en un contexto en el que existían otras opciones técnicas. Es decir siempre se eligió entre diversas alternativas técnicas.

Existen numerosos ejemplos sobre la existencia de opciones técnicas tanto para el empleo de la reacción en cadena como para el manejo de los desechos. Por ejemplo, la reacción en cadena pudo utilizarse para la investigación científica,

⁴⁵ Los datos corresponden a U.S. Department of Energy, (1994). Pese a esta onerosa cifra, ni siquiera los problemas más elementales, como la construcción de depósitos han sido resueltos. Hasta el momento no se ha aprobado la construcción de ningún depósito para desechos transuránicos o de alto nivel, porque no existe consenso en la comunidad nuclear respecto a como podría garantizarse un asilamiento suficientemente efectivo de estos peligrosos desechos. Por ejemplo, no hay consenso sobre el plazo en que estos depósitos deberán garantizar el aislamiento de las sustancias. Este plazo deberá ser de cuando menos 10 000 años según la Comisión Reguladora Nuclear y de un millón de años según la Agencia de Protección Ambiental.

la fabricación de materiales, la propulsión de aviones o la elaboración de medicinas, sin embargo, frente a estas alternativas se privilegió usarla para fabricar bombas, impulsar submarinos y generar energía eléctrica. Una vez que se había tomado esta decisión existieron diferentes alternativas sobre la forma en que podrían conceptualizarse y manejarse las sustancias radioactivas y de hecho durante un breve período se les conceptualizó como veneno, ceniza, combustible quemado, basura, desechos y arma, sin embargo, finalmente se impuso su conceptualización como desechos. Posteriormente cuando ya se había impuesto el concepto de desechos, ésta pudo haberse manejado con una gran variedad de técnicas, pero, por alguna razón, las técnicas que finalmente se emplearon fueron bastante rudimentarias. En los tres casos anteriores, las técnicas que terminaron convirtiéndose en realidad, eran solo una de las muchas opciones técnicas de las que disponía la sociedad.

La existencia de estas opciones técnicamente viables pero que fueron descartadas, sugiere una serie de preguntas: ¿cómo es que la sociedad selecciona una opción técnica entre muchas otras opciones posibles?, ¿cómo fue que unas opciones se convirtieron en realidad mientras otras fueron desechadas?, ¿cómo fue que la sociedad estadounidense decidió utilizar de una determinada forma y no en otra, la reacción en cadena?, ¿por que seleccionó técnicas poco eficientes para manejar la basura a pesar que tenía los datos necesarios para advertir los problemas que causarían esas peligrosas sustancias?.

Al tratar de responder a esas preguntas advertí un segundo problema importante: diversos procesos semióticos y comunicativos (PSyC), jugaron un papel muy importante en la conceptualización de la basura, la conformación del

ciclo industrial nuclear y la selección de la tecnología para manejar los desechos. La investigación sobre la forma en que la comunidad tecnológica nuclear y otros sectores de la sociedad, *interpretaron* y *representaron* a las sustancias radioactivas generadas por la reacción en cadena demuestra que ambas actividades influyeron poderosamente, tanto en la generación masiva de sustancias radioactivas, como en el desarrollo de una ineficiente tecnología empleada para manejarlos. Asimismo la comunicación entre la comunidad nuclear y el resto de la sociedad, jugó un papel muy importante en la configuración del ciclo industrial nuclear y en el diseño de la tecnología creada para manejar los desechos.

Por estas razones es importante hacer algunas consideraciones generales sobre el cambio técnico, abundar en los principales problemas de esta obra y definir la manera en se utilizarán diversas categorías. El parágrafo siguiente llamado *La influencia de los procesos semióticos y comunicativos en el cambio técnico*, responde a las preguntas: ¿Por que es importante partir de una concepción que reconozca el carácter heterogéneo y contingente del cambio técnico?, ¿por qué puede afirmarse que cada presente tecnológico contiene muchos futuros posibles?, ¿qué son los procesos semióticos y comunicativos?. El parágrafo *La influencia de los PSyC en la historia de la industria nuclear* explica ¿cómo influyeron los procesos semióticos y comunicativos en: la invención, generación y manejo de los desechos nucleares, durante los distintos periodos comprendidos entre 1939 y 1997? y menciona los principales problemas planteados desde el primero hasta el último capítulo de esta investigación.

1. 4. La influencia de los PSyC en la historia de la industria nuclear

La existencia de una gran cantidad de sustancias radioactivas consideradas basura nuclear sería inexplicable sin una serie de procesos semióticos y comunicativos que han influido poderosamente tanto en la historia de la industria nuclear en general, como en el uso de técnicas específicas para manejar la llamada basura nuclear, en particular.

En el periodo comprendido entre 1939 y 1945 la exitosa experimentación de la reacción en cadena obligó al Consejo Nacional de Investigaciones para la Defensa de E. U. a responder a una importante pregunta: ¿cuáles serían las posibilidades y los problemas que provocarían, una serie de sustancias radioactivas que serían generadas en caso de que Alemania o E. U. utilizaran la reacción en cadena?. La pregunta fue abordada por tres paneles científicos entre septiembre de 1939 y diciembre de 1940. Durante la discusión los científicos interpretaron a las sustancias radioactivas como veneno, arma y basura. Cada una de ellas implicaba un diferente desarrollo tecnológico: buscar mecanismos para dispersarlas en territorio enemigo, desarrollar blindajes para proteger las ciudades estadounidenses o construir una bomba. A principios de 1941 logró imponerse la interpretación de las sustancias que las consideraba como desechos. La consecuencia fue la creación del Proyecto Manhattan para construir la bomba atómica. La decisión implicó el nacimiento del ciclo industrial nuclear y la generación masiva de las peligrosas sustancias. Sin embargo, las diferencias de interpretación sobre las sustancias radioactivas persistieron y se exploraron mecanismos para envenenar a las tropas alemanas y para desarrollar blindajes

que protegieran a las ciudades norteamericanas de un posible bombardeo alemán con sustancias radioactivas. Consecuentemente el capítulo 1 de esta obra se ocupa de un importante proceso semiótico: *la influencia de las diferencias de interpretación en la configuración de un sendero tecnológico para el uso de la reacción en cadena.*

Entre 1945 y 1953 el gobierno estadounidense creó la Comisión de Energía Atómica para que manejara las cuestiones relativas a la energía nuclear. Está fijo como sus principales objetivos, producir bombas A en serie, fabricar una bomba aún más poderosa denominada bomba H y desarrollar un sistema nuclear para la propulsión de submarinos. Bajo estos lineamientos aumentó el número de instalaciones nucleares y el monto de los desechos nucleares. Las diferentes divisiones de la Comisión de Energía Atómica interpretaron de distinta manera a los desechos nucleares.

La División de Ingeniería la consideró como un problema manejable y recomendó construir depósitos similares a los utilizados para la basura química peligrosa. La División de Biología y Medicina la interpretó como un problema de salud y propuso desarrollar procedimientos técnicos para separar los radioisótopos peligrosos, recuperar las sustancias útiles y evitar riesgos a la salud. Por su parte, la División de Usos Militares la interpretó como un instrumento de espionaje y recomendó diseñar instrumentos de dosimetría, para cuantificar las emisiones de basura, provenientes del complejo nuclear soviético; además insistió en mantener en absoluto secreto los datos relativos a las emisiones del complejo nuclear estadounidense. La División de Salud y Operaciones la consideró un riesgo laboral

y propuso diseñar equipos capaces de garantizar la seguridad de los trabajadores.⁴⁶

Estas diferencias de interpretación provocaron numerosos accidentes, conflictos políticos, daños en numerosas comunidades, afectaron la salud de los trabajadores de la industria nuclear y pusieron en peligro a los soldados involucrados en maniobras atómicas. La gravedad de estos problemas obligó a la CEA a crear una institución encargada de unificar los criterios para manejar los desechos nucleares, denominada Rama Sanitaria. Por lo tanto el capítulo 2 de este trabajo, aborda otro tema semiótico: *la necesidad de una interpretación generalizada como premisa para la realización de los procesos productivos.*

Entre 1954 y 1970 la industria nuclear estadounidense realizó un amplio programa de detonaciones nucleares y construyó numerosos reactores para la generación de energía eléctrica. Ambas actividades incrementaron aún más el volumen de los desechos nucleares, sus efectos en el medio ambiente y los daños a la salud de la población. Esta situación provocó una serie de movilizaciones contra la industria nuclear. La magnitud de las movilizaciones obligó a la industria nuclear a aceptar la prohibición de pruebas nucleares atmosféricas, elevar las normas de operación de las plantas nucleares y a refinar los métodos para el manejo de los desechos radioactivos. Por esta razón el capítulo 3 estudia *el proceso de comunicación entre la comunidad tecnológica nuclear y la sociedad estadounidense y su influencia en el rediseñamiento de la tecnología empleada para manejar los desechos nucleares.*

⁴⁶ (Bruheze, 1992).

Entre 1970 y 1979 la crisis del petróleo puso a la industria nuclear a las puertas de una rápida expansión comercial. Sin embargo, el movimiento conformado por las comunidades locales afectadas, los grupos ambientales, los opositores a la carrera armamentista, los veteranos nucleares afectados por la radiación y los científicos que mantenían una postura crítica respecto a los parámetros de eficiencia de la industria nuclear, frenó la expansión comercial de dicha industria y la obligó a elevar sus parámetros de calidad y eficiencia. Por ello, el capítulo 4 de esta investigación aborda el mismo problema semiótico que el capítulo anterior: *la influencia del proceso de comunicación entre una comunidad tecnológica y el resto de la sociedad en la configuración de un sendero tecnológico.*

Entre 1980 y 1989 la reactivación de la carrera armamentista y la instauración de una verdadera contrarrevolución ambiental provocaron una confrontación entre dos culturas materiales: una tradicional y una innovadora, tanto al interior, como al exterior de la industria nuclear.

La cultura tradicional defendió el mantenimiento de un régimen industrial de excepción (basado en el secreto, la falta de supervisión externa, una normatividad especial y la supremacía de la producción civil y militar frente a las preocupaciones ambientales). Consideró a los desechos como un asunto secundario.⁴⁷ Empezó una contrarrevolución ambiental encaminada a desmantelar la legislación aprobada durante la década los setenta, la cual, había elevado la calidad del manejo de los desechos radioactivos.

⁴⁷ De hecho a pesar de que en 1982 fue aprobada la Ley de los Desechos Nucleares, muchos de los aspectos de dicha ley en los cuales se exigen mayores parámetros de eficiencia a la industria

Por su parte, la cultura material renovadora planteó la necesidad de homologar las normas de seguridad y eficacia vigentes para la industria nuclear respecto a los parámetros de seguridad y eficiencia aplicados a otras industrias peligrosas. Además consideró prioritario el problema de la basura, defendió e intentó ampliar la legislación aprobada en la década anterior.

El decidido apoyo de Ronald Reagan a la corriente tradicional durante los primeros años de la década, permitió la implantación de muchos de sus proyectos. Sin embargo, a partir de 1982, las medidas aplicadas por los tradicionalistas provocaron una severa crisis en el manejo de los desechos que se prolongó durante los cinco años siguientes. La crisis se intensificó aún más, por factores como: el aumento del volumen de los desechos, el desgaste de equipos diseñados para vidas útiles muy cortas, las continuas protestas de los trabajadores y una serie de accidentes.

En 1987, el accidente de Chernobyl, Ucrania, movió a diversos sectores sociales a exigir mayor seguridad en el manejo de los desechos nucleares. El estupor generado por el peor accidente en la historia de la industria nuclear, modificó la correlación de fuerzas, en favor de la corriente innovadora. Un año más tarde el Congreso de Estados Unidos aprobó la Ley de Responsabilidad y Acción sobre el Ambiente (LRAA). La nueva ley desmanteló algunos de los privilegios de la industria nuclear al obligarla a homologar sus parámetros de eficiencia y seguridad, con los de otras ramas industriales.

Para 1988, la correlación de fuerzas había cambiado completamente en favor de la corriente innovadora. El tema de la basura estaba al centro de un

nuclear, fueron introducidos en enmiendas posteriores (U.S. Department of Energy/Office of

intenso debate público. Consecuentemente el capítulo 5 aborda el tema de *la confrontación entre la cultura material tradicional e innovadora como la tensión esencial que explica la adopción de nuevos parámetros de eficiencia en la industria nuclear.*

Entre 1989 y 1997 la industria nuclear estableció formalmente que su principal objetivo sería la estabilización de los desechos nucleares, entendida esta como una política destinada a evitar los riesgos más importantes, provocados por los desechos nucleares. Para cumplir con dicho objetivo diversos actores sociales elaboraron distintos códigos industriales, en los cuales asociaron la basura con determinados problemas, soluciones y valores. Entre 1989 y 1997 las instituciones nucleares y los sectores externos a ella, hicieron un diagnóstico de los problemas, inventaron soluciones técnicas, establecieron valores éticos y plantearon objetivos políticos relacionados con los desechos. La agenda de problemas, las soluciones técnicas implementadas para afrontarlos e incluso los valores y objetivos que rigieron dichas actividades, fueron resultado de una construcción artificial. Lo que a simple vista parece una solución natural y una evolución interna de la tecnología para tratar los desechos, es en realidad el resultado de una construcción social: los códigos tecnológicos elaborados por distintos sujetos sociales.⁴⁸ La colisión entre estos diferentes códigos, forma parte de la historia más reciente de la industria nuclear y esta estrechamente vinculada con el establecimiento de la obra tecnológica de mayor duración y más costosa de la historia. Por esta razón el

Civilian Radioactive Waste Management, 1995).

⁴⁸ Este tipo de asociaciones entre una innovación técnica y un determinado uso, problema, solución, valor u objetivo político, esta muy relacionado con la formación de códigos. Un código es el conjunto de reglas de correlación elaboradas por un sujeto para relacionar un signo con un

capítulo 7 de este libro aborda *la construcción social de códigos tecnológicos como una determinante del cambio técnico*.

El capítulo 8 de este trabajo aborda dos importantes preguntas: *¿Es posible desinventar una tecnología?* y en caso afirmativo *¿es posible desinventar la basura radioactiva?*. Mc Kenzie (1987) se pregunta si es posible desinventar la bomba nuclear. En dicho texto, afirma que mucha gente responde negativamente a esa interrogante porque considera que una vez que ha sido inventado algo y en este caso, la bomba, no es posible desinventarla porque corresponde a un grado de desarrollo tecnológico de carácter irreversible. Sin embargo el propio, Mc Kenzie afirma que la bomba puede desinventarse, si se desmantelan las condiciones políticas, sociales y culturales que la hicieron socialmente viable.

Como hemos señalado antes, el origen de esta investigación fue justamente la preocupación por ubicar las variables que hacían más difícil revertir la existencia de los arsenales nucleares. En la actualidad existen métodos para disenriquecer el material fisionable, pero no existe ninguno para detener o reducir el período durante el cual será peligrosa la basura radioactiva. Sin embargo en el curso de la investigación, advertí que existen una serie de prácticas y culturas que han potenciado los problemas generados por los desechos y que de hecho el concepto de desechos, que como hemos mencionado antes fue inventado para minimizar los efectos de estas sustancias ha jugado un papel fundamental. Por ello este último capítulo aborda el tema de las condiciones necesarias para desinventar la basura nuclear, entendiendo como tal, el desmantelamiento de las condiciones que permiten generarla y que complican su de por si difícil manejo, entre las

significado, una cosa presente con algo ausente, una representación con lo representado, el

cuales destacan; suspender la generación de desechos, permitir el libre acceso a la información sobre las actividades nucleares, crear una institución independiente al Departamento de Energía para llevar a cabo las labores de limpieza, elevar los niveles de seguridad de los trabajadores, indemnizar a las comunidades, los trabajadores, soldados y países afectados por las actividades nucleares y aislar las 2000 toneladas de plutonio existentes en el mundo.

No existe ninguna técnica para revertir o acortar los plazos durante los cuales serán peligrosas estas sustancias. Sin embargo, actualmente existe una importante discusión sobre la posibilidad de suspender la generación de nuevos desechos, la importancia de valorar rigurosamente la magnitud de los problemas causados por ellas y la necesidad de desarrollar técnicas más confiables para manejarlos y depositarlos. Es a estos importantes objetivos a los que pretende contribuir esta investigación histórica.

CAPÍTULO 2

LA INVENCIÓN DE LA BASURA NUCLEAR

1939-1945

2.1 El misterio de las sustancias con un significado inestable

En 1939 la reacción en cadena fue experimentada exitosamente, en el laboratorio Wilhem Kaiser de Berlín. Al conocer esta situación un reducido grupo de científicos, políticos, militares y empresarios estadounidenses tuvieron que responder a una serie de interrogantes respecto a la reacción en cadena. Una de ellas se refería a cuáles serían las características de aproximadamente un millar de sustancias radioactivas que serían generadas como subproductos en caso de que Alemania o Estados Unidos emplearan la reacción en cadena con fines militares o civiles. Estas sustancias fueron interpretadas de muy diferente manera por cada uno de los sectores sociales antes mencionados. El predominio de una u otra interpretación era trascendental porque implicaba establecer como se usaría la reacción en cadena. Por ello, durante los seis años posteriores a 1939 existió una auténtica colisión de interpretaciones cuyo desenlace condujo finalmente a la invención conceptual y material de los desechos nucleares.

La invención de los desechos nucleares formó parte de un proceso fascinante y repulsivo. Fascinante porque involucró a algunos de los más talentosos científicos de todo el mundo, dió pie a la realización del proyecto tecnológico más caro y numeroso de la historia y convirtió al átomo en un ancho sistema solar por explorar. Pero fue repulsivo porque condujo a algunos de los acontecimientos más dramáticos e importantes de nuestro siglo: la construcción del ciclo industrial nuclear, la generación de un nuevo

espectro de desechos radioactivos, la invención de la bomba atómica y las tragedias de Hiroshima y Nagasaki

Este capítulo aborda cuatro interrogantes relacionadas con la invención conceptual y material de los desechos nucleares: 1) ¿con qué efectos y usos fue asociada la radiación antes de la reacción en cadena?; 2) ¿cómo se interpretaron las sustancias radioactivas que se generarían por el empleo de la reacción en cadena y como influyeron esas interpretaciones en la construcción de la bomba?; 3) ¿qué tipo de basura generó la construcción del ciclo industrial nuclear y qué técnicas se utilizaron para manejarla?; 4) ¿qué tanto se sabía sobre los desechos cuando se tomó la decisión de utilizar dos bombas atómicas contra Hiroshima y Nagasaki y qué conocimientos se obtuvieron de su empleo contras ambas ciudades?.

2.2 La basura radioactiva antes del uso de la reacción en cadena.

2.2.1 Las sustancias radioactivas antes de la reacción en cadena

La existencia y el uso de las sustancias radioactivas se remonta a tiempos anteriores al descubrimiento de los rayos X y la radiación. Sin embargo, a partir de 1894, los sucesivos descubrimientos de los rayos X, la radiación, los rayos Alfa, Beta y Gama, y el electrón, permitieron nuevos usos para las sustancias radioactivas. Estos descubrimientos alentaron nuevas investigaciones que paulatinamente convirtieron el átomo en un verdadero sistema solar y estimularon el estudio de la radiación. Estos

avances estimularon la aparición de numerosas imágenes científicas, literarias e incluso cinematográficas sobre los usos que podrían darse a la radiación. Cincuenta años después del descubrimiento de la radiación, ésta se usaba fundamentalmente para diagnósticos médicos, inspección de maletas en los aeropuertos, iluminación de tableros y fabricación de pintura luminosa. Sin embargo, su utilización en estas tareas generó una serie de desechos radioactivos que provocaron serios problemas de salud a los trabajadores y los usuarios de materiales radioactivos.

Mucho tiempo antes del descubrimiento de los rayos X y la radiación, muy diversas culturas habían conocido, explicado y utilizado sustancias radioactivas o fenómenos relacionados con la radiación isotópica o la emisión de rayos. Sin embargo, atribuyeron las propiedades de dichas sustancias y sus fenómenos, a causas muy diferentes a los que se les asigna en la actualidad y les vincularon usos muy diferentes. Por citar algunos ejemplos: Los mayas vincularon a Venus con rayos capaces de provocar malas cosechas. Los romanos asociaron los rayos solares a la posibilidad, planteada por Arquímedes, de construir grandes espejos solares para destruir ciudades enemigas.¹ Los vidrieros franceses del siglo XVII, consideraron al uranio como un colorante para obtener ciertos tonos de azul. Un siglo más tarde, los fabricantes de botellas de Francia valoraron al uranio como una importante materia prima.² Al iniciarse el siglo XIX, diversos científicos europeos consideraron a los rayos provenientes de la

¹ (Weart, 1988, pp. 43-44).

² (Williams, 1987).

electricidad como un elemento explicativo del origen de la vida. Los tarahumaras asociaron el radio y el uranio con ciertas propiedades curativas y usaron ese material en diversas prácticas medicinales, poco antes o simultáneamente al descubrimiento de la radiación.³ En suma, distintas culturas, pueblos y grupos sociales asociaron los materiales radioactivos y la radiación con diferentes explicaciones, formas de designarlos y aplicaciones.

2.2.2 El descubrimiento de los rayos X y la radiación

Al finalizar el siglo XIX diversos descubrimientos relacionados con la radiación permitieron cambiar la percepción que existía sobre una serie de fenómenos relacionados con ella y abrieron la posibilidad asociarla a usos diferentes. En 1894, el científico alemán Wilhem Röntgen reportó la existencia de unos misteriosos rayos a los que denominó Rayos X.⁴ Dos años más tarde, el físico francés Henrie Becquerel descubrió accidentalmente la emisión de rayos provenientes de las sales de uranio,

³ (Regis, 1994).

⁴ Como hemos mencionado antes, el decaimiento radioactivo produce tres tipos de emisiones: Alfa, Beta y Gama. Los rayos Gama se componen de radiación electromagnética de baja energía. Su unidad de medida es el fotón. Debido a que este tipo de rayos están formados por partículas subatómicas más pequeñas que las del núcleo atómico, tienen la capacidad de penetrar la materia con mayor facilidad y profundidad que los rayos Alfa y Beta (compuestos por partículas subatómicas de mayor tamaño (IIER, 1996). Los rayos X son particularmente útiles para la construcción de imágenes. Originalmente se utilizaron para detectar huesos rotos. Posteriormente se utilizaron para el diagnóstico de huesos y tejidos. Actualmente existen diversos métodos de diagnóstico médico basados directa o indirectamente, en el uso de rayos X y otro tipo de rayos de Gama, como la ultrasonografía, la tomografía computarizada y las imágenes de resonancia magnética. Una descripción del descubrimiento de los rayos se encuentra en Copp (1992).

mientras investigaba sobre los enigmáticos rayos X. Ese mismo año los esposos Pierre y Marie Curie explicaron la emisión de los rayos, descubrieron el Polonio y bautizaron las emisiones como radioactividad. En 1897 el científico neozelandés Ernest Rutherford matizó los tipos de emisiones radioactivas y descubrió los rayos Alfa y Beta. Ese mismo año Joseph John Thomson descubrió el electrón.⁵ Ya en el siglo XX, las investigaciones sobre el átomo y la radiación habían alcanzado un notable desarrollo, al grado que en 1912 el físico danés Niels Bohr propuso un modelo de representación del átomo similar al del sistema solar: el átomo se había convertido en un ancho universo por explorar.⁶

2.2.3 Usos e interpretaciones de los rayos X y la radiación

A partir de su descubrimiento, la radiación y los rayos X fueron asociados a numerosas aplicaciones⁷ como: la exploración astronómica, la investigación arqueológica, la medición de productos en las fábricas, el diagnóstico y la terapia médica, la manipulación genética, la producción de nuevas sustancias para uso industrial, el espionaje, la vigilancia de aeropuertos, la ingeniería genética, la criminalística, la

⁵ (Chown, 1997)

⁶ (Castro, 1990).

⁷ Los ejemplos son abundantes. En 1913 Moseley construyó la primera "pila atómica" aprovechando la energía proveniente de la radiación natural. Ese mismo año se descubrió la radiación originada en el espacio exterior y se le utilizó para efectuar observaciones astronómicas. En 1927 Hermann Muller irradió moscas para producirles alteraciones genéticas. En esa misma época, los ingenieros industriales asociaron la radiación con la posibilidad de producir materiales especiales.

exploración del subsuelo, los estudios geológicos, la generación de energía eléctrica, etc.⁸

La proliferación de experimentos y aplicaciones fecundó la imaginación de los novelistas, cineastas y publicistas. Aunque eran muy pocas las aplicaciones exitosas y desarrolladas a escala industrial, los éxitos experimentales en campos tan diversos desataron un aluvión de exaltadas visiones, en laboratorios, industrias, medios de comunicación, editoriales y estaciones de radio.

Entre 1894 y 1939 la imaginación excedió con mucho a la realidad. Por ejemplo, al iniciar el siglo las revistas populares publicaron viñetas describiendo una gran variedad de usos para los Rayos X. Entre ellos destacan: la inspección de maletas en los aeropuertos, el diagnóstico médico, las máquinas para leer el pensamiento, la detección de fisuras en materiales ingenieriles y el espionaje, lentes especiales para ver desnudas a las mujeres y consecuentemente la confección de vestuario femenino con blindajes anti-Rayos X, para evitar a los entrometidos vouyeristas⁹.

En 1903 Frederick Soddy publicó un libro titulado *La nueva alquimia*. En él, anunció una disyuntiva: los materiales radioactivos pueden transformar a la sociedad y conducirla a una "Edad Dorada" con "ciudades limpias" y superabundancia de bienes de consumo o pueden utilizarse para producir un poderoso explosivo capaz de destruir la

⁸ (Del Sesto, 1986).

⁹ (Knight, 1986).

tierra.¹⁰ Éste dilema se plantea también en muchos otros textos, en los cuales se describe con preocupación la posibilidad de que el creciente poder de los científicos¹¹ conduzca a la humanidad a una catástrofe.¹²

Por su parte los escritores de ciencia ficción hicieron lo propio: Mientras algunos imaginaron utopías como las de Moro, en 1913, H.G. Wells utilizó por primera vez el nombre de *bomba atómica* en la novela *The World Sets Free*, en la cual describe una explosión atómica que destruye la Tierra, sobre cuyos restos, se libra una batalla campal entre humanos y mutantes.¹³

Podrían citarse muchos otros ejemplos pero el hecho, es que para 1939, la radiación había sustituido a la electricidad, como símbolo de los temores y anhelos de un mundo altamente tecnologizado.¹⁴ La ciencia había convertido al átomo en un ancho sistema planetario, lleno de misterios, posibilidades y riesgos. Los tecnólogos habían explorado decenas de aplicaciones industriales. Los empresarios habían industrializado un par de estas aplicaciones y las habían transformado en un jugoso negocio. La ciencia ficción había inaugurado un nuevo género. En suma, se había renovado el acervo de

¹⁰ (Weart, 1988).

¹¹ Marie Curie mató un ratón acercando un pedazo de radio y provocó que varios doctores y novelistas, imaginaran la aterradora posibilidad de que las sustancias radioactivas cayeran en manos de malhechores interesados en utilizarlas como una arma provista de un mortífero poder invisible (Weart, 1988).

¹² Un ingeniero inglés asoció los materiales radioactivos con la posibilidad de iluminar toda la ciudad de Londres con una cantidad de combustible que podría sostenerse en la palma de una mano (Del Sesto, op. cit).

¹³ H.G. Wells, *The World Set Free*, New York, Dutton, 1913, citado en (Weart, op cit. p. 24).

¹⁷ Al respecto ver (Weart, op. cit.)

imágenes relacionadas con la radiación en el imaginario colectivo, con tal intensidad, que provocó una paradoja: por un lado, mostró los obstáculos existentes para la diversificación, universalización y democratización de los usos de la radiación, pero al mismo tiempo despertó una enorme expectativa.

2.2.4 Los desechos radioactivos

Sin embargo, la eficacia simbólica de la radiación,¹⁵ en 1939, el futuro no era, ni tan terrible, ni tan maravilloso, como se lo había imaginado una generación anterior.¹⁶ Sus aplicaciones a escala industrial eran básicamente dos: el diagnóstico médico y la fabricación de pintura luminosa. En ambos casos el uso de la radiación había provocado una serie de problemas y generado cuantiosas cantidades de desechos radioactivos. Sin descartar la importancia de otros factores -como el desconocimiento de múltiples aspectos relacionados con la radiación- los desechos habían cosechado un gran número de víctimas - entre los cuales se contaban el propio matrimonio Curie.

Los mineros que trabajaban en las minas de radio - el material más usado en esa época - padecieron frecuentemente de la llamada "fiebre de montaña". Esta se presentaba con síntomas como vómito, diarrea, caída del pelo y ocasionalmente,

¹⁵ Nos referimos a su capacidad para expresar las tensiones sociales introducidas por el creciente poder social de la tecnología y el ascendente protagonismo de los científicos.

¹⁶ Del Sesto, (1986), desarrolla esta idea en su trabajo "Wasn't the Future of Nuclear Energy Wonderful".

esterilidad.¹⁷ Por su parte los primeros pacientes que acudieron a diagnósticos efectuados con Rayos X (originalmente mujeres embarazadas) o a recibir irradiaciones terapéuticas padecieron cáncer, malformaciones genéticas y otros tipos de desordenes.¹⁸ Los trabajadores de las fábricas donde se elaboraba pintura luminosa, para relojes o anuncios publicitarios también sufrieron diversos males.¹⁹

Los desechos generados por estas aplicaciones también provocaron graves problemas, por ejemplo: "Las fábricas - de anuncios luminosos o carátulas para relojes hechas con radio - fueron transformadas, abandonadas o demolidas" y no se tomaron las medidas necesarias para evitar los riesgos que provocaban sus desechos".²⁰ En la mayoría de los casos las demoliciones se realizaron "sin tomar ninguna precaución... [aún cuando] todos sus materiales deberían haberse clasificado como basura radioactiva, empacados cuidadosamente y aislados del medio ambiente".²¹ Por ello, aún después de ser destruidas mantuvieron su peligrosidad y contaminaron muchos lugares. Los problemas ocasionados por los desechos provocaron una creciente desconfianza de la sociedad respecto a la seguridad de los tratamientos radiológicos.

¹⁷ (Williams, 1987).

¹⁸ (Knight, op. cit.).

¹⁹ (Lee Ray, 1992).

²⁰ (Blowers, op cit., p. 34)

²¹ *Ibid.* p 34

En conclusión, durante los primeros cuarenta años posteriores al descubrimiento de la radiación: se sabía mucho más sobre ella; se había asociado a numerosas aplicaciones en el terreno experimental; había desplazado a la electricidad como el símbolo más recurrente de la ciencia ficción. Además se había generado un vasto repertorio de imágenes en el imaginario colectivo. Se había generado un cuantioso volumen de desechos y se habían provocado daños graves a mujeres embarazadas, mineros, médicos y otras personas relacionadas con las sustancias radioactivas.²²

2.3 La reacción en cadena y el debate sobre las sustancias radioactivas.

2.3.1 La discusión suscitada por la invención de la reacción en cadena

En enero de 1939 Niels Bohr llevó a Nueva York una impactante noticia. Lise Maitner y Otto Frisch habían experimentado con éxito la reacción en cadena de un isótopo de uranio, en el laboratorio Wilhem Kaiser de Berlín. El 2 de agosto Leo Szilard convenció a Albert Einstein de escribir una carta a Franklin D. Roosevelt advirtiéndole que los alemanes podrían producir “una poderosa bomba de nuevo tipo”.²³ Einstein envió la carta a través del Alexander Sachs, el Vicepresidente de la compañía Wall Streets Lehmon Corporation. Tras una minuciosa lectura de la carta, Franklin D.

²² Los problemas generados por las sustancias radioactivas desde el descubrimiento de la radiación hasta 1939, eran un obstáculo para la diversificación de sus aplicaciones, su implantación a escala industrial y el diseño de artefactos domésticos. Además permitieron que los científicos tuvieran una idea muy precisa de los riesgos que implicaban para la salud, el medio ambiente, la seguridad laboral.

²³ (Moore, 1992).

Roosevelt le preguntó a Sachs: "¿Estas diciendo que los nazis nos pueden volar?". "Exactamente", respondió Sachs.²⁴ FDR telefoneó a Lyman J. Briggs de la Oficina Nacional de Estándares y creó un Comité de Asesores Presidenciales Sobre el Uranio.

La información suscitó una importante discusión entre el reducido grupo de científicos (originalmente de las universidades de Columbia y Berkley), militares y estadistas del comité, que tuvieron acceso a ella,²⁵ durante el período comprendido entre septiembre de 1939 y diciembre de 1940. ¿Qué consecuencias militares tendría dicha innovación?, y en todo caso ¿cómo podría utilizarse?. La polémica generó otra importante pregunta: ¿cuáles serían las posibilidades y los problemas que provocarían, una serie de sustancias radioactivas que previsiblemente serían generadas en caso de que Alemania o EU utilizaran la reacción en cadena?.

El 12 de julio de 1940 Roosevelt creó el Consejo Nacional de Investigaciones para la Defensa encabezado por el ingeniero Vannevar Bush (ex-vicepresidente del Instituto Tecnológico de Massachusetts). Aunque las prioridades del Consejo eran el radar, la detección de submarinos y las bombas guiadas por radio, Bush otorgó un pequeño presupuesto al Comité Sobre el Uranio para que prosiguiera su trabajo. En esta época Bush consideraba más importantes otros temas y buscaba alguna manera para deshacerse del "dolor de cabeza atómico" que le habían provocado las presiones de los físicos en torno al asunto. En abril de 1941 le solicitó a la Academia Nacional de

²⁴ (Lanovette, 1992).

Ciencias que averiguara ¿si era posible construir una bomba atómica, en un plazo de tres a cinco años?.

2.3.2 Las primeras discusiones sobre los desechos nucleares

La Academia Nacional de Ciencias formó una comisión científica para discutir el asunto. La Comisión la integraron entre otros, el Premio Nobel Arthur Holly Compton y los científicos J.C. Slater, Ernest O. Lawrence y John Van Vleck. La comisión realizó dos paneles científicos. Ambos se realizaron respectivamente en mayo y julio de 1941. Los dos respondieron a Bush que no era posible construir una bomba en ese plazo.

El primer panel dictaminó que: las sustancias generadas al producir la bomba, serían sumamente venenosas y problemáticas debido a la ignorancia que existía sobre ellas, por lo tanto recomendó: a) suspender la construcción de la bomba²⁶; b) establecer como primera prioridad el **estudio científico** de los desechos; c) investigar la posibilidad de utilizarlos como arma experimentando posibles usos ofensivos; d) encauzar la nueva tecnología nuclear hacia la fabricación de medios de propulsión para barcos submarinos

²⁵ Sherwin, (1975), reconstruye meticulosamente como se diseminó la información sobre la reacción en cadena, desde el arribo de Niels Bohr a Estados Unidos hasta que el Comité de Investigaciones Científicas para la Defensa decidió crear el Proyecto Manhattan, en 1942.

²⁶ El panel consideró que podría obtener la suficiente cantidad de sustancias radioactivas como para bombardear una ciudad alemana en 1943. Que tardaría cuatro años en obtener un submarino de propulsión nuclear y que no podría construirse una bomba antes de 1945, (U. S Department of Energy, History Division, 1994, p. 8)

y aviones; e) una vez cubiertas estas etapas iniciar la construcción de la bomba.²⁷ El segundo panel reiteró la misma recomendación.

Durante la discusión las sustancias radioactivas fueron interpretadas de diferentes maneras y se les designó con nombres tan diversos como: "cenizas", "veneno", "polvo", "combustible quemado", "materiales radioactivos de uso ofensivo", "arma", "bomba de cáncer" y "desechos".²⁸ Cada una de estas interpretaciones, implicaba diferentes maneras de utilizarlas y requería de distintos procedimientos tecnológicos para manejarlas.

Su interpretación como "arma" generó el temor de que Alemania produjera masivamente dichas sustancias y las utilizara para bombardear ciudades estadounidenses. Por ello, se planteó la necesidad de "investigar y desarrollar blindajes antirradioactivos" para proteger diversas ciudades norteamericanas entre las cuales se encontraban Washington D.C. y San Francisco, California.²⁹

En cambio su interpretación como "Bomba de cáncer" originó la propuesta de producirlas en grandes cantidades y emplearlas para bombardear territorio enemigo o para envenenar los alimentos ingeridos por las tropas alemanas.³⁰

Por otra parte, su interpretación como "sustancias peligrosas" -que fue la percepción mayoritaria en los paneles de la Academia Nacional de Ciencias- llevó a

²⁷ (Bernstein, 1985).

²⁸ Estas maneras de designar a las sustancias radioactivas aparecen en los textos de (Goslin, 1994); (Berstein, 1985, pp. 44-49); (Blowers, 1991);y (Wear, 1988).

²⁹ (Berstein, 1985, p . 44)

recomendar la suspensión del proyecto de construir una bomba (hasta despejar las numerosas incertidumbres que existían sobre ellas). Asimismo, llevó a sugerir que la reacción en cadena debería utilizarse para fabricar un submarino de propulsión nuclear.

Su interpretación como "desechos" condujo a la propuesta de construir una bomba y depositar las sustancias en algún almacén similar a los utilizados para la basura química peligrosa. Por lo tanto, cada una de las interpretaciones coexistentes entre 1939 y 1945 implicaba usos y desarrollos tecnológicos diferentes.

2.3.3 La decisión de construir la bomba

Sin embargo, a partir de julio, diversos factores convencieron a Bush de la posibilidad de construir la bomba: Primero, una comisión de científicos ingleses (MAUD era su nombre en código) que visitó EU estaba totalmente convencida de la posibilidad de construir la bomba; Segundo, la confirmación (que resultó falsa *a posteriori*) de que Alemania estaba produciendo su propia bomba; Tercero, la Academia Nacional de Ciencias realizó un 3° y último panel cuyo coordinador, Arthur Holly Compton,³¹ recomendó construir la bomba.³² Cuarto, conforme avanzaba el Proyecto Manhattan se fue tejiendo una haz de intereses económicos, políticos y militares que reforzaba esa

³⁰ (Blowers 1991); y (Weart, 1988).

³¹ Compton era miembro del Laboratorio de Rayos Cósmicos de la Universidad de Chicago.

³² (Zachary, 1992).

interpretación. Quinto, era mucho más "atractiva" la imagen de una poderosa bomba de nuevo tipo, que la "repulsiva" imagen de envenenar a los contrincantes. Sexto, la corriente que interpretaba las sustancias como basura tuvo una gran capacidad para tejer una alianza con diferentes grupos sociales y para presentar el problema como "manejable". Séptimo y último: el secreto y la compartimentalización que rodearon al proyecto de la bomba impidieron una rápida comunicación entre científicos y obstaculizaron la posibilidad de que el problema de los desechos fuera valorado en su justa dimensión.

El triunfo de la corriente que interpretaba a las sustancias como basura, condujo a la aprobación del Proyecto Manhattan, en junio de ese año cuyo objetivo sería fabricar el nuevo tipo de bomba. El citado proyecto pronto se convirtió en la más numerosa y cara empresa científica realizada hasta entonces. Involucró a 150 mil personas entre las cuales se encontraban 18 premios Nobel y un alto porcentaje de científicos y técnicos.³³

³³ En el siguiente párrafo describiremos con detalle dicho proyecto, pero por el momento deseamos mostrar, que aún después de que éste fue aprobado continuaron explorándose otros *senderos tecnológicos*, diferentes a la construcción de la bomba.

2.3.4 Otros senderos tecnológicos para el empleo de los desechos nucleares

La construcción de la bomba encontró muchos obstáculos y fue más lenta de lo previsto, por esta razón, continuaron experimentándose las técnicas sugeridas por otras interpretaciones. Por ejemplo, en 1943 un año después de haber iniciado el Proyecto Manhattan, su coordinador, Leslie Groves le solicitó al Chicago Metallurgical Laboratory investigar la posibilidad de construir *blindajes* especiales para defender a ciudades como, San Francisco, New York, Chicago, Washington y Boston de un posible ataque enemigo, efectuado con armas radioactivas.³⁴

A mediados de ese año volvió a pensarse que esas ciudades serían blanco de un ataque radioactivo, entre el invierno de 1943 y la primavera de 1944. Bajo este supuesto, el físico italiano Enrico Fermi, miembro del Proyecto Manhattan y constructor de la primera pila atómica, le sugirió a Robert Oppenheimer, coordinador de los físicos del proyecto, la producción de sustancias radioactivas en grandes cantidades con el fin de dispersarlas en territorio Alemán o para envenenar alimentos. Oppenheimer encargó el asunto a Edward Teller, quien a su vez comisionó al médico Joseph G. Hamilton del Laboratorio de Radiación de Berkley. Este último inició una relación epistolar con Enrico Fermi para intercambiar opiniones sobre el tema. En una de sus cartas, el galeno preguntó:

³⁴ La investigación involucró a científicos como James Conant, quien en ese entonces, era Presidente del Comité de Investigación Científica para la Defensa Nacional. (Blowers, 1991).

"¿quiere usted que la gente muera rápido o lentamente?, ¿con síntomas previos o sin ellos?, ¿qué medio de contaminación sería preferible, alimentos, agua o aire?, ¿sería deseable que la zona quede inhabitable por una semana o por un mes" .³⁵

El 25 de mayo de 1943 Robert Oppenheimer³⁶ le preguntó a Enrico Fermi si sería posible, producir estroncio en cantidades suficientes, como para envenenar una buena cantidad de alimentos. En ese mismo documento afirma: "Creo que no deberíamos intentar un plan a menos que podamos envenenar alimento suficiente para matar a medio millón de personas".³⁷

Unos meses después, la investigación fue temporalmente suspendida por diversas razones. El empaquetamiento y traslado presentó algunas dificultades técnicas. Su dispersión en un área delimitada parecía imposible. El envenenamiento de alimentos podría crear una mala imagen en la opinión pública. Y finalmente, porque muchos científicos y militares preferían "La bomba" por ser un arma "más ética y estética".

³⁵ (Ibid)

³⁶ La mención a este documento la hace Joseph Rotblat -quien entonces era un joven científico que abandonó el Proyecto Manhattan y que sería galardonado como Premio Nobel de la Paz medio siglo más tarde (Rotblat, 1985).

³⁷ (Rotblat, 1985).

Después de cancelada esa investigación continuaron explorándose otros usos de las sustancias radioactivas, derivados de otras interpretaciones. Bernstein (1985), afirma que meses antes del "Día D",³⁸ algunos científicos, informaron a Dwight Eisenhower, Comandante Supremo de la Fuerzas Aliadas, sobre el peligro de que Alemania atacara con radiación a las tropas que desembarcarían en Normandía. Leslie Groves (coordinador militar del Proyecto Manhattan) envió un memorándum a Eisenhower advirtiéndole que:

"Los materiales radioactivos son excelentes agentes contaminantes... los alemanes los conocen... pueden producirlos y podrían emplearlos como arma".³⁹ Eisenhower decidió atender las advertencias de Groves, para lo cual ordenó que se tomaran medidas para prevenir un ataque de ese tipo, disfrazándolas de prevenciones sanitarias para el control de epidemias. Por esta razón, el día del desembarco, los médicos de campo estuvieron muy atentos a la presencia de "síntomas como fatiga, náuseas, o pérdida de glóbulos blancos en la sangre".⁴⁰ Un pequeño grupo de soldados cargó, contadores Geiger, 1500 cajas de película y algunos otros instrumentos para medir la radiación.

Como puede apreciarse, la reacción en cadena no condujo de manera *natural* e inevitable a la fabricación de la bomba. Existían muchas interpretaciones y consecuentemente distintas aplicaciones para dicho invento. Veamos ahora cuales

³⁸ Nombre en código con el que se designó el sorpresivo desembarco de tropas aliadas en Normandía, realizado en junio de 1943.

³⁹ (Bernstein, op cit. p. 47).

⁴⁰ (Bernstein, op. cit. p. 47).

fueron las principales consecuencias del triunfo de la interpretación que consideró a las sustancia como desechos.

2.4 El Proyecto Manhattan y el ciclo industrial nuclear.

2.4.1 El proyecto Manhattan y la construcción de la bomba

A pesar de los diversos senderos tecnológicos explorados durante el período 1941-1945 la interpretación predominante fue la de utilizar la reacción en cadena para construir una bomba de nuevo tipo. Los esfuerzos para cumplir con ese objetivo fueron desarrollados a través del Proyecto Manhattan. Éste involucró a tantos científicos e implicó un gasto tan fuerte que en su época fue el proyecto tecnológico más costoso y numeroso de la historia. No solo inventó una bomba, inventó todo un ciclo industrial. En solo tres años fabricó la primera bomba atómica. Pero también inventó un nuevo espectro de desechos radioactivos que por su monto y sus cualidades constituyeron una problemática herencia que persiste hasta nuestros días.

La construcción de la bomba implicó inventar todo un ciclo industrial. Muchas máquinas y herramientas para fabricarla simplemente no existían y tuvieron que ser diseñadas exprofeso y a toda velocidad.⁴¹ Bajo el vértigo de los tiempos impuestos por la guerra, debían diseñarse y construirse, las instalaciones, los instrumentos y los procesos para convertir en realidad un ciclo compuesto de numerosas fases. La velocidad y los

objetivos militares que enmarcaron su construcción, obligaron a transitar de la fase experimental a la escala industrial en un plazo sumamente breve. El proyecto tuvo que diseñar, experimentar, construir y operar las instalaciones y equipos para llevar a cabo cada una de las fases del ciclo industrial nuclear. Las principales fases del ciclo son: la extracción y molienda de grandes cantidades de Uranio, el enriquecimiento del combustible, la conversión del uranio enriquecido en combustible, la operación de reactores, la fabricación de plutonio, la separación química del plutonio, el ensamblado de las bombas y la experimentación o prueba de las mismas.

En marzo de 1942 el Comité de Investigaciones para la Defensa le encargó al Cuerpo de Ingenieros del Ejército que se hiciera cargo de la construcción de equipos, herramientas y materiales para producir la bomba. El 13 de agosto se instaló el cuartel general del proyecto, en el distrito de Manhattan, Nueva York. Cuatro días más tarde se designó al General Leslie Groves como director militar del proyecto. Su tarea no era nada fácil.

La primera reunión de trabajo entre el Gnrl. Leslie Groves y los científicos que participarían en el proyecto, se realizó en noviembre de 1942. En ella quedó claro que uno de los principales retos técnicos sería determinar cual era el mejor método para fabricar el combustible.⁴² Ese mismo mes se invitó a la empresa Du Pont a participar en

⁴¹ (Goslin, 1994).

⁴² En ese momento se plantearon tres métodos posibles para enriquecer el uranio: el electromagnético, la difusión gaseosa y el centrifugado. La otra alternativa era utilizar el uranio enriquecido como materia prima para producir plutonio.

el proyecto. En diciembre de ese año Enrico Fermi realizó exitosamente la primera reacción en cadena sostenida en el laboratorio de Stagg Field y demostró que el proyecto era viable. El 28 de diciembre el Presidente Roosevelt aprobó la construcción de tres plantas para la fabricación de combustible. Dos de las tres plantas se utilizarían para fabricar uranio enriquecido, una de ellas utilizaría el método de difusión gaseosa y la otra un método electromagnético. La tercera produciría plutonio.

La preparación de las distintas fases del ciclo industrial requirió la construcción de aproximadamente 2 700 instalaciones. Por razones de espacio mencionaremos solo algunas de las más importantes. La extracción de uranio se realizó fundamentalmente en el Congo y Canadá. Sin embargo, parte de la molienda se realizó en Estados Unidos para evitar que otros países adquirieran la tecnología necesaria para fabricar combustible nuclear. El enriquecimiento de uranio se realizó fundamentalmente en el laboratorio Clinton Engineering Work.⁴³ La experimentación de reactores capaces de producir plutonio se desarrolló en el laboratorio Argonne⁴⁴. Ahí se probaron distintos tipos de reactores para producir plutonio. El ensamblado final de las bombas se realizó en el

⁴³ El laboratorio Clinton Engineering Work -más tarde Oak Ridge- montó tres plantas experimentales para la fabricación de combustible: dos para producir uranio enriquecido, (una de difusión gaseosa y otra electromagnética) y una más para producir plutonio. La planta basada en el método de difusión gaseosa se denominó Y 12 y, produjo 200 gramos de uranio-235 enriquecido en un 12%, en febrero de 1944. La planta K 23 utilizó métodos electromagnéticos y debido a las dificultades para echarla a andar terminó abasteciendo de materias primas a la planta Y 12 (U. S. Department of Energy, History Division, 1994, pp 12-43).

⁴⁴ El problema principal era enfriar el uranio, para lo cual se probaron tres enfriadores: helio, agua y bismuto. En junio de 1943 Argonne puso a trabajar el primer reactor experimental enfriado por agua, tenía capacidad para producir 100 grms. diarios de plutonio, (U. S. Department of Energy, History Division, 1994, pp 12-43).

Laboratorio Los Alamos en Nuevo México donde se realizaría también la primera prueba nuclear.

2.4.2 El ciclo industrial nuclear y la generación de desechos

La construcción del ciclo industrial nuclear creó un nuevo espectro de desechos radioactivos. Para finales de 1944 cada una de las fases se había convertido en realidad. Cada una de ellas arrojó importantes cantidades de basura con características tan novedosas como peligrosas. El conjunto de los desechos generados en cada una de las fases del ciclo nuclear, constituyó un nuevo **espectro** de desechos radioactivos. La novedad respecto a la vieja basura radiactiva consistía tanto en su **calidad** (el tipo de emisiones), **variedad** (pues cada fase del ciclo arroja distintos tipos de basura) y **cantidad**, (ver capítulo 1).

La introducción de métodos industriales para la extracción de uranio generó desechos en un volumen mucho mayor al ocasionado por la explotación del radio durante el periodo precedente. La continua remoción del material extraído -necesaria para separar el radiosótomo útil- dispersó grandes cantidades de gas radón en la atmósfera. El agua utilizada en los molinos para separar la *ganga*⁴⁵ de los materiales útiles, contaminó grandes cantidades de agua.⁴⁶ Los desechos generados en las minas y

⁴⁵ Nombre dado por los mineros al material de desperdicio o de muy bajo valor.

⁴⁶ (Dennis, 1984).

molinos fueron colocados en una gran variedad de sitios. Parte importante de ellos se generó y permaneció en el Congo, Canadá y probablemente en Brasil (los tres países donde se extrajo el uranio para la fabricación de la bomba). Como hemos mencionado antes, algunos procesos de molienda que podían haberse realizado en el sitio de extracción se efectuaron en territorio estadounidense. Por esta razón, una parte importante del material extraído fue embarcado a los EU y posteriormente fue transportado en trenes especiales. La mayor parte de ellos fueron depositados al terminar la guerra en una mina de dinamita abandonada, denominada Lake Ordinance Works.⁴⁷

Las fases de enriquecimiento y fabricación de combustible generaron sustancias con altos niveles radioactivos y vidas medias de miles de años. Por citar un caso, el laboratorio Clinton Engineering Work (más tarde Oak Ridge Reservation), contó con dos plantas de enriquecimiento de uranio: la planta Y 12 que se basaba en el método de separación electromagnética; y la planta K 25 que utilizaba el método de difusión gaseosa. Sus operaciones contaminaron 600 lugares diferentes. La planta Y 12 dispersó diversos radioisótopos de uranio, tecnecio 99 y torio. La planta K 25 generó grandes cantidades de basura combinada: asbestos, aceites, químicos y pcbs que se encontraban mezclados con residuos de sustancias radioactivas.

Los experimentos para producir plutonio generaron desechos durante sus tres subfases; la irradiación, generó iodine-131, la separación de radionucleidos, arrojó

⁴⁷ Otra parte de los desechos se depositó en tiraderos a "cielo abierto", los cuales fueron convertidos en

alrededor de sesenta peligrosas sustancias y el empaquetamiento, contaminó equipo. Oak Ridge produjo el primer reactor experimental moderado por grafito para la producción de plutonio en la planta X 10. Sus operaciones dispersaron grandes cantidades de lantano 140. Pero además dispersaron anualmente: 182 500 curies por la emisión de argón 41, entre 550 y 1200 curies⁴⁸ por emisiones de xenón 133, y entre 290 y 880 curies por la emisión de yodo 131. Además dispersó grandes cantidades de estroncio 90 cuyas emisiones anuales, posteriores a la Segunda Guerra Mundial llegaron a un millón de curies.⁴⁹

La producción de plutonio, a escala industrial, se realizó en Handford, Washington, la más grande de las instalaciones del Proyecto Manhattan. En ese lugar se inició la construcción de dos reactores (llamados entonces pilas) la Pila 100B y la Pila D. La Pila D se quedó a medio camino, pero la Pila 100B produjo sus primeros gramos de plutonio en diciembre de 1944, los cuales fueron procesados unas semanas después en una instalación especial. Sus actividades dispersaron alrededor de 1.3 mil millones de

sitios turísticos al divulgarse la existencia del Proyecto Manhattan.

⁴⁸ Las principales unidades de medida de la radiación son: el curie, el rad y el rem. Un curie es unidad de radioactividad igual a la producida por 1 gramo de radio 226 o sea 31 mil millones de desintegraciones por segundo. Se trata por tanto de una medida física de la radiación. Un rad es una dosis de radiación absorbida por un organismo vivo y es igual a 100 ergs por cada gramo de tejido. Por lo tanto mide una cantidad física de radiación recibida por un organismo. Un rem es una unidad de medida obtenida mediante la multiplicación de un rad (unidad física) por su efecto biológico relativo (IIER, 1998,). Por lo tanto es una medida mucho más precisa, respecto al monto de la radiación y su efecto en un organismo. Actualmente existe un importante debate sobre los niveles mínimos de radiación a los que puede someterse un organismo vivo. Resnikoff (1998) sostiene que la dosis de radiación admisible para el ser humano es cero. Ésto es así, afirma, porque en la actualidad existen varios factores que exponen al ser humano a dosis mayores a las que existieron en el pasado, las altas dosis de radiación en el ambiente, las actividades nucleares y la frecuencia de los tratamientos médicos y de diagnóstico. Además, las últimas investigaciones biomédicas sobre los efectos de la radiación en el núcleo celular han revelado alteraciones graves en la reproducción celular como respuesta a dosis mínimas de radiación.

basura líquida de bajo nivel directamente en los suelos cercanos. Además produjo grandes cantidades de basura transuránica como plutonio 239, plutonio 238, neptunio 237, plutonio 241 y americio 241. Adicionalmente se contaminaron las aguas subterráneas con sustancias como el cesio 137, yodo 129, plutonio 239, cadmio, cromo y mercurio, entre otras.⁵⁰

2.4.3 Las primeras técnicas para manejar los desechos

Las técnicas para manejar los desechos fueron muy variadas por: la variedad de las propias sustancias y el hecho de que fueron interpretadas de diferente manera por cada uno de los distintos actores sociales. Las sustancias fueron interpretadas de diferente manera por cada uno de los actores de la comunidad nuclear. Por ejemplo, los ejecutivos de la gigantesca empresa química Du Pont la consideraron peligrosa e "inútil comercialmente". Razón por la cual, condicionaron su participación en el Proyecto Manhattan a quedar exentos de cualquier responsabilidad sobre su manejo o cualquier accidente provocado por ella.⁵¹ Los militares, exigieron que el proyecto se mantuviera en secreto, diseñaron el complejo nuclear bajo el principio de la compartimentalización para que nadie supiera que hacía el vecino, crearon instalaciones por duplicado (para evitar

⁴⁹ (Special Commission for International Physicians., pp 226-233)

⁵⁰ (Special Commission for International Physicians..., p. 223)

⁵¹ (Goslin, 1994 a).

que un bombardeo cercenara el complejo nuclear) y dispersaron las instalaciones por todo el territorio estadounidense!

La existencia de una gran variedad de interpretaciones sobre los desechos provocó una abigarrada diversidad de técnicas para manejarlos. Por ejemplo, en el Laboratorio Oak Ridge, la basura radioactiva de bajo nivel se depositó en trincheras subterráneas que se cubrieron con tierra y concreto. La basura sólida de alto nivel se depositó en seis áreas a partir de 1944. La basura líquida procedente del condensador y del drenaje se colectó en tanques, donde se medía la radiación y se esperaba que las sustancias con vidas medias cortas se dispersaran en la atmósfera. Posteriormente los líquidos se descargaron directamente en el río White Oak Creek, sin que se efectuara ningún procedimiento para remover los radionucleidos más peligrosos. La basura transuránica y los residuos de uranio 235 se enterraron en hoyos que se taparon con arena y concreto.⁵²

En Handford, los desechos líquidos de alto nivel y la basura transuránica se almacenaron en sesenta y seis tanques. Los desechos se depositaron en los tanques sin tomar muestras para identificar el tipo de desechos que se depositarían. Por esta razón, hasta la fecha, no se sabe con exactitud cuál es su contenido. Esta situación de incertidumbre es muy peligrosa porque algunos de los tanques contienen mezclas que generan Hidrógeno, sustancia que como se sabe es sumamente explosiva y podría

⁵² Además, el depósito subterráneo de sustancias como el uranio, torio, hexafluoruro de uranio, berilio, boro, fluoruro de sodio, plutonio y arsénico colocados en trincheras y tanques mal diseñados contaminó

provocar una explosión de gran magnitud.⁵³ Lo peor del asunto es que también se depositaron importantes cantidades de residuos de plutonio, los cuales podrían provocar una explosión espontánea en caso de que se reúnan accidentalmente 11 de los 200 kilos de esa sustancias que se encuentra almacenados en los tanques de Handford.⁵⁴

Por otra parte el Proyecto Manhattan incluyó también la aplicación de diversas medidas encaminadas a garantizar la seguridad laboral de las operaciones nucleares. Sin embargo, estas medidas fueron insuficientes para cumplir con sus objetivos y en muchos casos fueron tomadas extemporáneamente. A principios de 1944, la coordinación del proyecto integró una comisión de quince científicos encargada de diseñar instrumentos y normas de salud. La comisión fue encabezada por Herbert M. Parker, Carl C. Gamertsfelder y William D. Norwood. El equipo realizó una serie de acciones para atenuar riesgos radiológicos, diseñó y calibró instrumentos de medición y estableció normas para los procedimientos de trabajo.⁵⁵ Sus actividades consumieron el 4% del presupuesto del Proyecto. Para cumplir con su objetivo consultaron a diversos expertos en radiaciones, entre ellos, al doctor Robert Stone, quien realizó diversos experimentos para estudiar los efectos que provocaba la exposición a algunas de las

gravemente los suelos (U.S. Department of Energy/Office of Energy/Office of Environmental Restoration and Waste Management, 1993).

⁵³ (Special Commission for International Physicians..., p. 223)

⁵⁴ Debido a que los tanques fueron construidos para un uso provisional muchos de sus materiales han presentado altos niveles de corrosión e incluso fugas masivas en los años posteriores a su construcción (Betancourt, 1997).

⁵⁵ (Goslin, 1994).

1000 sustancias que conformaban los desechos nucleares en ratones y otros animales.⁵⁶

El doctor Stone encabezaba un equipo encargado de estudiar los efectos de la radiación para la salud de los trabajadores. El doctor Stone recomendó: que los trabajadores no fueran expuestos a dosis de radiación mayores a las autorizadas para los médicos que trabajaban con instrumentos radiológicos. Dicha recomendación no tomó en cuenta que los trabajadores de la industria nuclear estarían expuestos a muchos materiales, emisiones y operaciones que no existían antes del proyecto.⁵⁷

La comisión encargada de la seguridad radiológica tuvo que dictar normas y tomar medidas brindando la menor información posible a los trabajadores, para evitar que éstos pudieran percibir cuál era el objetivo real del Proyecto Manhattan. Por ejemplo, en la planta de aislamiento de plutonio en Hanford, la comisión estableció una serie de rígidas reglas como: no comer, beber o fumar, lavarse las manos varias veces al día, etc. pero no le informó a los trabajadores sobre la causa de las mismas.⁵⁸

Las normas fueron complementadas por el diseño de una serie de instrumentos para medir la contaminación tales como: cajas fotográficas y cámaras de ionización en forma de plumas, contadores Geiger-Muller, vasos de muestras y medidores de calidad del aire. Las plumas eran revisadas superficialmente una vez al día y con mayor

⁵⁶ Al respecto ver la amplia documentación sobre los experimentos del doctor Stone con diversos tipos de animales en Openess, el programa de desclasificación de documentos del Departamento de Energía.

⁵⁷ Además sugirió la asignación de equipos médicos en cada una de las instalaciones, tomar muestras de orina a los trabajadores y revisar su ropa.

⁵⁸ Goslin, op. cit.

detenimiento, una vez a la semana. El equipo también tomó muestras de orina siguiendo las recomendaciones del doctor Stone y revisó periódicamente la tiroides de los trabajadores, sobre todo después de que se registró una inesperada elevación en los niveles de yodo-131.

Como la mayoría de los trabajadores desconocía las causas, la trascendencia y la vulnerabilidad de las medidas, llamaron a estos instrumentos con nombres chistosos tales como: la "Entrometida Betty" (Betty Snoop), la "Empanada Mona" (Cutie Pie), "La reinita" (Queenie), la "Gran Mamada" (Big Sucker), la "Pequeña Mamadora" (Little Sucker), la "Parrilla del Perro Caliente" (Hot Dog Grill), "Caminar Hablando" (Walkie-Talkie) y el "Puerco Horizontal" (Horizontal Pig)⁵⁹.

Las medidas tomadas por la comisión fueron insuficientes. Los trabajadores, los soldados que custodiaron las instalaciones nucleares y los vecinos de las ciudades atómicas⁶⁰ recibieron elevadas dosis de radiación que en muchos casos afectaron fatalmente su salud. Según revelaron varios documentos desclasificados en 1990, entre 1944 y 1947, alrededor de trece mil quinientas personas que habitaban en la "ciudades atómicas" cercanas a Handford (donde se produjeron 2/3 partes de la basura nuclear)⁶¹ recibieron dosis de 33 rads en sus tiroides y algunos niños que tomaban leche producida

⁵⁹ Goslin, op. cit.

⁶⁰ La otra importante tarea del equipo fue el monitoreo ambiental. Para ello, utilizó un millón de plumas para monitorear 200 sitios, 170 mil cajas de fotos, 52 revisiones de instrumentos y 31 mil supervisiones de condiciones de operación, durante ocho meses. Además tomó muestras de la flora, la fauna y el agua del río Colombia.

⁶¹ (U.S. Department of Energy/Office of Energy Office of Environmental Restoration and Waste Management, 1992).

en los establos caseros recibieron hasta 2 900 rads. Poco más tarde se estableció como norma que nadie debía recibir una dosis mayor a un rad al año.⁶² Pero en 1945, muy poca gente sabía los riesgos a los que habían sido expuestos los vecinos de las ciudades atómicas. Por ello, cuando los vecinos de Handford supieron que la bomba (que según la propaganda oficial había terminado con la guerra) se había fabricado en las cercanías de sus comunidades, manifestaron sentirse muy orgullosos. Pero muchos años más tarde, en 1990. cuando se enteraron que ellos mismos habían sido utilizados para experimentos con humanos declararon que se sentían "como cochinitos de guinea".⁶³

Aún en la actualidad se desconoce el número exacto de los sitios contaminados por las actividades del Proyecto Manhattan. En total se generaron miles de toneladas de desechos sólidos, millones de galones líquidos y millones de metros cúbicos de gas.

"Todavía hoy (dice un texto de 1991) es difícil establecer el número exacto de sitios contaminados por el Proyecto Manhattan".⁶⁴ Lo que es un hecho es que la complejidad y las numerosas fases del proyecto involucraron una gran cantidad de lugares. Todavía en 1980 se creía "que eran 76 los sitios involucrados, el mayor número de los cuales se encontraba en New York". Pero una evidencia, posterior elaborada por

⁶² (Stenehjem, p 213).

⁶³ Ibid.

⁶⁴ (Blowers op cit. p. 36)

la Oficina General de Contraloría reveló que al menos 1 500 los lugares habían sido utilizados como depósitos de desechos".⁶⁵

Estos problemas se explican por una gran diversidad de causas. El secreto que rodeó al proyecto impidió que la comunidad científica pudiera tomar las medidas más convenientes para evitar la contaminación. La premura obligó a desarrollar a escala industrial lo que en realidad requería de fases experimentales mucho más largas. La excesiva descentralización administrativa provocó que las sustancias fueran clasificadas y tratadas con una gran diversidad de métodos. Las empresas contratadas para construir el ciclo industrial nuclear fueron excentadas de sus responsabilidades ambientales. Los pocos políticos que supieron de su existencia, la consideraron un problema secundario y no informaron de su existencia a las autoridades locales, a las instituciones responsables de supervisar sustancias peligrosas o riesgos laborales.⁶⁶

⁶⁵ (Blowers, op cit, p. 36)

⁶⁶ Por ejemplo, la construcción de Handford se realizó sin que fueran informados el estado de Washington, las localidades involucradas y el vicepresidente de EU (U.S. Departament of Energy, Office of Energy Office of Enviromental Restoration and Waste Management, 1992).

2.5 De los experimentos con ratones a los experimentos con humanos

2.5.1 Trinity

En el período comprendido entre diciembre de 1944 y septiembre de 1945 se precipitaron una serie de eventos trascendentales y con importantes efectos respecto al conocimiento y el manejo de los desechos. En diciembre de 1944 los trabajos de construcción de la bomba estaban muy avanzados, pero a pesar del esfuerzo por terminar la bomba quedó claro que ésto no sería posible hasta seis o siete meses después. En abril de 1945 murió Franklin D. Roosevelt por lo cual Harry S Truman asumió la presidencia y se enteró por primera vez de la existencia del Proyecto Manhattan. Un mes más tarde, Alemania se rindió antes de que fuera terminada la bomba.

Después de la rendición alemana ocurrida en mayo de 1945 la pequeña comunidad que sabía del Proyecto Manhattan se dividió en dos corrientes. La primera la integraron fundamentalmente la mayoría de los miembros del Comité de Estudios Sobre las Consecuencias Políticas y Sociales de la Bomba, el cual era encabezado por Vanevar Bush, James Conant y Leslie Groves. Su postura consistió básicamente en plantear que: 1) Estados Unidos debería mantener en secreto la existencia del Proyecto Manhattan 2) debería decidir unilateralmente la forma en que usaría la bomba 3) debería terminar la bomba antes de que Japón se rindiera 4) debería emplearla de un modo lo suficientemente contundente como para poder conseguir la rendición incondicional de

Japón, amedrentar a la Unión Soviética y mostrar al mundo las responsabilidades de la era nuclear.

La segunda corriente fue encabezada por los físicos Leo Szilard y Niels Bohr, quienes trataron de convencer a Truman por muy diversos medios de la necesidad de: a) informar a la Unión Soviética sobre la existencia de la bomba 2) no arrojar la bomba contra Japón y en todo caso detonarla en una isla deshabitada ante la presencia de la prensa internacional y de una delegación militar del Japón 3) crear una agencia internacional que garantizara el uso pacífico de la energía atómica.⁶⁷

Los miembros del Comité de Estudios Sobre las Consecuencias Políticas y Sociales de la Bomba boykotearon la comunicación de Bohr y Szilard con Harry S. Truman y desplegaron una intensa campaña para persuadir al presidente de la conveniencia de usar la bomba. Por su parte Harry S. Truman consideró que la bomba sería un arma diplomática y adoptó la postura sostenida por la corriente encabezada por Bush, Conant y Groves. Bajo la consideración de que la bomba podría ser un útil instrumento diplomático en la configuración del orden mundial que surgiría en la post-guerra, giró instrucciones a Leslie Groves para que apresurara la terminación de la primera bomba atómica de tal manera que el pudiera contar con ella durante la reunión que sostendría con José Stalin y Winston Churchill en Postdam, Alemania, prevista para mediados de julio.

⁶⁷ Ver (Sherwin, 1975) y (Ackland, 1987).

A principios de julio de 1945 Robert Oppenheimer le informó a Leslie Groves que todo estaba listo para detonar la primera bomba A. Los trabajos de preparación en el campo de pruebas de Los Álamos Nuevos México se intensificaron. Finalmente, la prueba fue programada para el 16 de julio.

En la víspera del día propuesto, el Médico del Proyecto Manhattan Coronel Stafen Warren, le dirigió un memorándum al Gnr. Leslie Groves advirtiéndole que las condiciones meteorológicas eran inadecuadas para realizar la detonación, a menos que se desalojara a cientos de civiles, cuyas viviendas se encontraban relativamente cerca del campo de pruebas. El desalojo era necesario -según Warren- para evitar que la tormenta que se aproximaba al campo de pruebas provocara la precipitación de la nube radioactiva sobre los hogares de los habitantes del desierto. Por su parte, el servicio meteorológico confirmó el pronóstico de una tormenta eléctrica.

Harry S. Truman recuerda en sus memorias que tenía una enorme ansiedad por conocer los resultados de la prueba y contar con esa "arma diplomática" en la Conferencia de Postdam que iniciaría el día 17. Por esta razón la prueba no fue suspendida a pesar de las advertencias de los servicios médicos y meteorológicos.

El 16 de julio de 1945, a las 5:29:45 de la mañana, fue detonada Trinity (nombre en código) de) la primera bomba nuclear.⁶⁸ El impresionante hongo atómico - que conmocionó a los científicos que presenciaron el acontecimiento- fue seguido por la formación de una inmensa nube radioactiva. A dos horas del estallido, la nube se

convirtió en una lluvia radioactiva de 3.3 Roentgens por hora sobre un área de 3000 millas cuadradas. Posteriormente, la parte de la nube que no se precipitó a tierra salió de Nuevo México, cruzó Kansas, avanzó hacia Iowa y poco más tarde alcanzó Nueva York y Nueva Inglaterra, tras lo cual continuó su camino adentrándose en el Océano Atlántico. Por la altura en que se efectuó la explosión, la lluvia radioactiva afectó plantas, animales y suelos en la zona cercana al "punto cero".⁶⁹

Un día después uno de los equipos que monitoreaba la zona descubrió a dos ancianos en Hot Canyon (a solo veinte millas del punto cero) quienes vivían ahí, en su modesta casa de adobe. Tanto ellos como otros rancheros vecinos al campo de pruebas fueron expuestos a altas dosis de radiación. Varios de ellos tenían colectores de agua en sus azoteas y bebieron agua sumamente contaminada. Por su parte la Asociación Americana de Veteranos Atómicos declaró años más tarde que varios de los soldados presentes ese día en el campo de pruebas también sufrieron daños en su salud. Un mes después de la explosión, algunas vacas de ranchos ubicados a treinta millas del punto cero -fuera del campo de pruebas - comenzaron a perder pelo y posteriormente adquirieron coloraciones rojizas en la piel. Setenta y cinco de ellas fueron compradas por el Proyecto Manhattan para estudiarlas. Más tarde fueron expuestas en El Paso Texas como las vacas atómicas.⁷⁰

⁶⁸ La detonación estuvo a cargo del Dr. K.T. Bainbridge del Instituto Tecnológico de Massachusetts. (The Washington Post, 1945, p.6).

⁶⁹ Al respecto pueden verse los estudios citados en Gordon, (1965).

⁷⁰ (May, 1989).

Trinity fue un importante experimento científico⁷¹ y reveló muchos aspectos sobre la reacción en cadena, las detonaciones nucleares y la dispersión de contaminantes, pero también dejó en claro que existían muchas interrogantes respecto a la radiación, la activación de sustancias, la dispersión de radioisótopos y los efectos de la radiación en el ser humano.⁷² Harry S. Truman fue informado en Alemania de la detonación. Aunque eso lo hizo sentir más seguro respecto a la posición de los Estados Unidos y pronunció algunas vagas palabras a Stalin sobre la existencia de un nuevo tipo de arma, nunca planteó la existencia de la bomba y acordó la participación de la URSS en la guerra contra Japón. A partir de entonces se agudizó la discusión sobre si las otras dos bombas que Estados Unidos tenía en su poder debían o no utilizarse contra Japón.

2.5.2 La decisión Truman: Hiroshima y Nagasaki

Los últimos días de julio, el "Comité para el Estudio de las Consecuencias Políticas y Sociales de la Bomba" intensificó sus trabajos.⁷³ La bomba podía utilizarse de muchas maneras. El comité planteó varias alternativas: detonar la bomba en un campo de pruebas ante la presencia de periodistas y una delegación militar japonesa, arrojar la

⁷¹ (U.S. Department of Energy, 1994).

⁷² (National Academy of Sciences, 1995).

⁷³ Durante esas discusiones alguien objetó la inmoralidad de usar la nueva bomba contra ciudades habitadas, si no se tenía conocimiento exacto del daño que provocarían los desechos. Sin embargo, otro integrante del Comité contrargumentó diciendo que esa era justamente una de las razones por las que sería mejor arrojar la bomba contra alguna ciudad habitada, pues de otra forma muchas incógnitas no podrían ser despejadas.

bomba en una isla deshabitada del Japón, detonarla en el mar, utilizarla contra un blanco militar o lanzarla contra una ciudad.

Mientras el comité discutía el asunto Truman fue informado por los servicios de inteligencia de que el Emperador japonés había entrado en contacto con Stalin para plantearle la posibilidad de rendirse, pero que requería una rendición digna que le permitiera justificarse frente a los militares. Un estudio encargado por el Secretario de la Defensa de EU reveló que la invasión de Japón costaría 75 mil vidas estadounidenses. Sin embargo, Truman se inclinó por utilizar la bomba como un arma diplomática que: evitará la presencia soviética en Asia, obligaría a los japoneses a una rendición incondicional, advertiría a la URSS del poderío estadounidense y garantizaría la hegemonía estadounidense. Por lo tanto decidió arrojar la bomba de la manera más espectacular posible.⁷⁴

El día seis de agosto un bombardero estadounidense modelo B-29 despegó de la base de Tinian. A las 8:15 hora local, arrojó una bomba de uranio con poder explosivo equivalente a 13 kilotones de dinamita sobre la ciudad de Hiroshima. Su efecto fue devastador. Incineró virtualmente todo, en un radio de tres kilómetros a partir del punto cero. Destruyó todos los edificios a tres kilómetros a la redonda.⁷⁵ Un nube de humo en forma de hongo se elevó a 12 kilómetros de altura. Decenas de miles de personas murieron instantáneamente, otras tantas sufrieron una larga y angustiosa agonía. Para

⁷⁴ (Sherwin, 1975).

⁷⁵ (Holloway, 1994, p.127).

finales de ese año las víctimas sumaban 145 000 personas. Esa cifra se elevó 250 000 cinco años más tarde.⁷⁶

2.5.3 Las imágenes sobre Hiroshima y Nagasaki

La reacción en el mundo fue inmediata.⁷⁷ Al día siguiente de la explosión los periódicos de todo el mundo informaron sobre el uso de una poderosa bomba que provocó un temblor en todo Japón. José Stalin ordenó a las tropas del Ejército Rojo invadir Manchuria. El emperador japonés se comunicó con Stalin para plantearle la posibilidad de la rendición japonesa. Al iniciarse la campaña soviética en Asia, Truman decidió adelantar el uso de una segunda bomba atómica del día 11 al día 9 de agosto. Ese día un bombardero se dirigió a la ciudad de Kokura. Al arribar ahí descubrió que la visibilidad era bastante mala e impediría registrar el estallido en forma adecuada. Esto obstaculizaría la recolección de datos científicos y la toma de las escenas necesarias para la campaña de propaganda que se había decidido con antelación. El avión enfiló hacia Nagasaki. A las 11:02 hora local la bomba de plutonio denominada Fat Man cayó

⁷⁶ Según Ackland, (1987).

⁷⁷ El día siguiente el periódico Washington Post informó: "Una sola bomba atómica sacudió a Japón. Con una fuerza equivalente a 20 000 toneladas de TNT. Su lanzamiento marca una nueva era de poder... Su fuerza fue igual a un ataque con 2 000 bombarderos B-29 cargados al máximo de su capacidad. (The Washington Post, 7/Agosto/1945, p.1). "Trescientas cuarenta y tres mil personas perdieron la vida. El 60% de la ciudad fue arrasada". The Washington Post 8/Agosto/1945.

sobre Nagasaki. Una bola de fuego destruyó la ciudad,⁷⁸ posteriormente una onda de presión derrumbó numerosos edificios, finalmente una tercera ola, ahora de radiación comenzó un trabajo letal que aniquiló casi instantáneamente a 72 000 personas. Otras 35 000 perdieron la vida de una manera pavorosa. El doctor Akizuki describe que la gente llegaba a pedirle auxilio y se quejaba de un gran calor. Horas más tarde moría inexplicablemente. No había hospitales, ni medicinas para atenderlos, pero además no se sabía que tenían y cual era el tratamiento adecuado. Horas después de morir los cuerpos quedaban completamente carbonizados.⁷⁹ Se habían cocinado vivos, de adentro hacia, fuera, como en un horno de microondas.

Las imágenes sobre Hiroshima que conoció la humanidad fueron cuidadosamente seleccionadas para magnificar el acontecimiento. Estados Unidos creó un verdadero monopolio sobre la información y las imágenes procedentes de Hiroshima y lo utilizó como propaganda. La noticias, las fotos, las caricaturas y los comentarios editoriales que se produjeron en todo el mundo respecto a las tragedias de Hiroshima y Nagasaki se basaron en la información suministrada a cuenta gotas por el Departamento de Guerra. La intencionalidad, premeditación y dosificación de la información sobre Hiroshima y Nagasaki, influyó poderosamente en las imágenes que el mundo se formó sobre la

⁷⁸ "Es como si un gigante hubiera caminado por la ciudad" dijo un oficial de inteligencia estadounidense que analizó las fotos tomadas a Nagasaki (The Washington Post, 10/agosto/1945, p.1).

⁷⁹ (Akizuki, 1987).

tragedia.⁸⁰ Éstas influyeron a su vez en las decisiones que tomaron posteriormente el gobierno de la URSS y muchos otros actores sociales.

Los efectos de ambas bombas no se conocieron inmediatamente, ni siquiera en el propio Japón. El imperio japonés prohibió a Radio Tokio y otras difusoras que transmitieran información sobre aspectos que revelaran algo distinto a un bombardeo convencional. Los soldados y socorristas que entraron a ambas ciudades no sabían a los riesgos que corrían. La sociedad japonesa tampoco supo que Hiroshima y Nagasaki habían sido devastadas por un arma de nuevo tipo. Todavía un mes después del bombardeo, el desconocimiento sobre lo ocurrido era casi total porque el Código de Prensa impuesto por las fuerzas de ocupación estadounidenses e inglesas, prorrogó la prohibición dictada por el imperio japonés y desautorizó:

"la publicación y diseminación de todos los informes, comentarios y tratados sobre los daños causados por la bomba atómica, (e) incluso aquellos relacionados con el tratamiento médico para las heridas y enfermedades provocadas por la bomba".⁸¹

La censura generó un monopolio de información al respecto que permitió dosificarla y convertirla en un poderoso instrumento propagandístico. La mayoría de las

⁸⁰ Las imágenes sobre Hiroshima y Nagasaki, influyeron de manera determinante en los acontecimientos posteriores por ejemplo, provocaron que Stalin decidiera acelerar intensivamente los trabajos de construcción de una bomba nuclear y crearon una de las referencias más importantes para el imaginario colectivo del siglo XX. Sin embargo, apenas han comenzado a estudiarse sistemáticamente.

⁸¹ (Toyoda, 1985).

noticias, fotos, caricaturas y comentarios editoriales que se produjeron en todo el mundo, respecto a ambas tragedias se basaron en dos o tres documentos básicos y fotografías difundidos por el gobierno norteamericano.⁸² Uno de ellos fue la declaración de dos cuartillas que leyó Harry S. Truman a la prensa el día 6 de agosto. El documento había sido elaborado con varios meses de anticipación por el periodista norteamericano William Laurence, quien había sido contratado por el general Leslie Groves para preparar varias versiones de la declaración presidencial.

Laurence era un entusiasta lector de ciencia ficción y de ese género tomó el término de "Bomba Atómica" empleado por H.G. Wells en una novela publicada en 1913. El documento que finalmente leyó Truman fue terminado tres meses antes de la explosión y contenía frases como: "la gran bomba, que contiene el poder básico del universo", y también:

"Es una bomba atómica. Es una contención del poder básico del universo. La fuerza de la que el sol obtiene su energía se ha soltado contra quienes llevaron la guerra al Lejano Oriente."⁸³

2.5.4 La investigación sobre los desechos de Hiroshima y Nagasaki

⁸² La combinación censura/propaganda alteró la percepción científica sobre el fenómeno. Por ejemplo, los científicos estadounidenses consideraron que la contaminación de Hiroshima convertiría a dicha ciudad en un desierto "tan desolado como el paisaje lunar" durante los setenta años subsecuentes (Weart, 1987, p. 108).

Mientras la campaña de propaganda continuaba, los científicos japoneses, estadounidenses e ingleses comenzaron a analizar el asunto. El emperador japonés formó una Comisión Imperial de Médicos y la mandó a Nagasaki para analizar los efectos de la "nueva bomba americana". La Comisión llegó al lugar el 14 de septiembre. Se instaló en los restos de un hospital situado en las afueras Nagasaki. El día 17 la comisión fue sorprendida por un inusual tifón, que provocó la muerte de varios de sus integrantes y la pérdida de muchos registros clínicos⁸⁴ que la comisión había solicitado a los médicos que trabajaron en la zona en los días inmediatos posteriores a la explosión. Sin embargo, lograron salvarse dos importantes trabajos de investigación realizados por el médico Shigoterm Sugiyama y el físico Bunsaku Arakatsu. Ambos habían efectuado la disección y el análisis forense de 34 cadáveres encontrados entre los escombros. Su trabajo permitió registrar importantes observaciones, como los restos de un bombardeo de neutrones, encontrados en los huesos de los difuntos. La comisión imperial también recabó algunos datos importantes sobre los efectos de la radiación y la presencia de desechos radioactivos en el cuerpo humano.⁸⁵

⁸³ (Weart, 1985, p. 101)

⁸⁴ (Research Commission of the Imperial University Kyoto, 1945).

⁸⁵ Sin embargo, la investigación fue muy general, dejó en pie muchas incógnitas y problemas teóricos. Por ejemplo no diferenció entre los efectos de la basura radioactiva depositada en el cuerpo humano respecto a los efectos de la dosis externas. Afortunadamente una comisión anterior, denominada Comisión Científica de la Universidad Imperial de Osaka que visitó Hiroshima la tarde del seis de agosto, intuyó la importancia de estas diferencias y recabó importante información al respecto. Así en medio de numerosas dudas, el reporte elaborado por la Comisión Imperial describe fragmentariamente el efecto de

Durante los días 3 al 7 de octubre de 1945 una avanzada de la Marina estadounidense arribó a Hiroshima y Nagasaki para preparar el terreno para las fuerzas de ocupación que se encargarían de remover los escombros.⁸⁶ Por la información recabada por la avanzada se sabe que dos meses después de las explosiones todavía había gran cantidad de productos activados de fisión a 3 500 metros del *punto cero* en Hiroshima y a 2 800 metros en Nagasaki.

Ese mismo mes llegaron a Nagasaki alrededor de mil soldados norteamericanos, para remover las ruinas de la ciudad (Hiroshima fue ocupado fundamentalmente por tropas británicas). Los soldados fueron expuestos a altas dosis de radiación proveniente de las sustancias activadas que se encontraban en la zona.⁸⁷ Cálculos posteriores revelaron que los soldados se expusieron a dosis de 1.8 r (más o menos el doble de la dosis que puede recibir durante un año un trabajador de la industria nuclear en la actualidad). El contacto con los desechos radioactivos provocó muchos problemas de salud aunque estos fueron largamente ocultados a la opinión pública. Según el Comité de Veteranos Estadounidenses de Hiroshima y Nagasaki una cifra desconocida de soldados sufrieron leucemia, diversos tipos de cáncer y desordenes sanguíneos (al

la radiación en diversos materiales. Por ejemplo, la observación de la quemaduras sufridas por algunas víctimas mostró que el vidrio absorbía la radiación ultravioleta mientras la ropa blanca la reflejaba, lo cual permitió explicar casos de víctimas gravemente injuriadas o milagrosamente ilesas por su posición respecto a ventanas abiertas o cerradas o por el tipo de ropa que traían etc. (ibíd.).

⁸⁶ US Department of Energy/Openess, "Memorandum for Director through Biomedical Advisor, Dosage Reconstruction, Hiroshima and Nagasaki", 67677, 11/sep/1979.

⁸⁷ (Block, 1947)

menos 30 de los cien veteranos que forman parte de esa organización)⁸⁸. Las maniobras de limpieza incluyeron la remoción de una inmensa cantidad de escombros -compuestos de sustancias activadas- exactamente abajo del *punto cero* y en muchos otros puntos cercanos a éste ⁸⁹.

“Muchos soldados participaron rutinariamente en tareas que implicaban levantar grandes cantidades de polvo provenientes de basura que había estado expuesta a altas dosis de rayos Alfa y Beta, lo cual, provocó importantes daños [a los soldados] que respiraron y tragaron el polvo o que bebieron agua contaminada.”⁹⁰

Los desechos de Hiroshima y Nagasaki han sido estudiados por más de cincuenta años. Sin embargo, aún persisten numerosas e importantes incertidumbres sobre sus efectos⁹¹. La Comisión Reevaluada de la Dosimetría de la Radiación Provocada por las Bombas Atómicas en Hiroshima y Nagasaki, encabezada por Shunzo Okajima y Schoichiro Fujita, afirmó en 1986 que:

⁸⁸ En 1980 el Comité de Veteranos de Hiroshima y Nagasaki rechazó públicamente que solamente 60 de los 1000 soldados estadounidenses que estuvieron en dichas ciudades hubieran muerto por enfermedades asociadas a la radiación. Según el comité sus investigaciones habían permitido contactar a 100 de esos soldados y de ellos 30 padecían leucemia. (Committee for U.S. Veterans of Hiroshima and Nagasaki, 1980, p.1)

⁸⁹ (Solomon, s.f.).

⁹⁰ *Ibid.* La carta cita una amplia documentación al respecto recopilada por el Doctor Ikuro Anzai del Departamento de Salud Radiológica de la Facultad de Medicina de la Universidad de Tokio

⁹¹ (Mowery, 1979)

"los estudios sobre la radiación residual producida por la activación de neutrones en materiales cercanos al hipocentro así como sobre la activación de materiales provocada por las nubes emanadas de la explosión ...(es una) omisión que debe despertar mucho escepticismo sobre los estudios de la prensa y las publicaciones científicas (sobre el tema)."⁹²

2.6 Conclusiones: La invención de la basura radioactiva.

Los usos de la radiación y las sustancias radiactivas son resultado de una asociación construida social e históricamente. Cada cultura, sociedad, comunidad, actor social o época histórica ha asociado a la radiación con diferentes explicaciones y aplicaciones.

Durante el período comprendido entre el descubrimiento de los rayos X y la experimentación de la reacción en cadena (1894-1939) el radio fue el material radioactivo más utilizado. Sus principales aplicaciones fueron la radiografía y la fabricación de pintura luminosa. El tipo de desechos generados durante la extracción de radio o su uso provocó numerosos problemas incluso después de que se abandonaban o desmantelaban las instalaciones así como entre sus usuarios.

⁹² (Okajima, 1987).

Las sustancias radioactivas generadas por el empleo de la reacción en cadena fueron interpretadas de diferentes maneras por los diferentes sectores que participaron en la discusión de los años 1939-1942. Cada una de esas interpretaciones contenía la posibilidad de desarrollar diferentes senderos tecnológicos para el uso de la reacción en cadena. Por lo tanto, el debate sobre las sustancias radioactivas sostenido entre 1939 y 1941 revela que “no hay una relación (automática) entre el estado de un artefacto técnico (o una sustancia) y su interpretación”.⁹³ De esta manera:

“lo que se nos presenta como un objeto real, también es el resultado de un proceso (social de construcción semiótica) durante el cual se desarrolla una semántica generalmente aceptada” .⁹⁴

Un mismo elemento tecnológico -en este caso una misma sustancia- fue interpretado de muy diferentes maneras y pudo haber seguido senderos tecnológicos diferentes. Consecuentemente, cada presente tecnológico contiene diversos futuros posibles, de entre lo cuales, de los cuales, la realización material de uno de ellos, es el resultado, de un proceso de negociación social en el que los diversos grupos se disputan la capacidad de generalizar su punto de vista. Consecuentemente, la construcción del significado social de una innovación es fundamental para determinar su futuro.

⁹³ (Gugerli, 1989).

⁹⁴ (Ibid p. 8).

El triunfo de la corriente que interpretó las sustancias como basura implicó la construcción de un ciclo industrial contaminante y peligroso. Este generó basura en cada una de sus distintas fases. Implicó priorizar la rapidez, el secreto, y los objetivos militares sobre la seguridad, la protección ambiental, la investigación científica y las aplicaciones pacíficas. El uso de la reacción en cadena para construir una bomba generó un nuevo espectro de basura radioactiva, cualitativa y cuantitativamente diferente y más peligrosa que la basura generada por el uso de la radiación natural.

La decisión de arrojar dos bombas atómicas contra Hiroshima y Nagasaki implicó convertir a dos ciudades en un inmenso e infernal laboratorio de experimentos con humanos. Además convenció a la Unión Soviética de la necesidad de producir su propia bomba y por lo tanto implicó dar un banderazo de salida para la carrera armamentista nuclear⁹⁵.

⁹⁵ "Stalin no tomó en serio la construcción de la bomba atómica soviética hasta que Hiroshima mostró de la manera más dramática que ésta podía ser construida. A partir de ese momento la URSS movilizó todos los recursos para fabricarla... El 20 de agosto de ese año Laurent Beria encabezó la primera reunión formal del Comité Especial para la Bomba Atómica", (Holloway, 1994, pp. 133-135).

CAPÍTULO 3

LA INSTITUCIONALIZACIÓN DEL CAOS: DIFERENCIAS DE INTERPRETACIÓN SOBRE EL MANEJO DE LOS DESECHOS NUCLEARES (1945-1953)

3.1. La necesidad de una *interpretación generalizada* de los desechos nucleares

La gran mayoría de los estadounidenses supo de la existencia de la energía nuclear por las noticias sobre Hiroshima y Nagasaki. Casi sin tiempo para reponerse de la sorpresa, la sociedad norteamericana tuvo que discutir con que objetivos se utilizaría la reacción en cadena. El debate sobre ese tema se desarrolló condicionado por tres ideas que el gobierno enfatizó intencionalmente en la propaganda sobre la energía nuclear: a) que el Proyecto Manhattan había sido un secreto incluso para el Vicepresidente b) que la energía nuclear era "la energía que movía el universo" y c) que Estados Unidos era el único que poseía la tecnología para utilizarla y que por lo tanto tenía el monopolio sobre ella. Esta intencional exaltación del poder atómico auspició la aparición de numerosas imágenes¹ sobre la radiación y la energía nuclear y creó una atmósfera de expectativas y temores respecto a las instituciones, la tecnología, y los objetivos bajo los cuales debería manejarse la energía nuclear.

En 1946 el Congreso aprobó una Ley Nuclear en la cual se decretó la creación de la Comisión de Energía Atómica (CEA) y se le encomendó la resolución de

¹ Este aspecto es relevante porque recientes investigaciones históricas han mostrado que existe una influencia recíproca, entre imágenes y eventos históricos. Entre otros autores, Jacques Le Golf, Phillips Ariés y Georges Duby -todos ellos integrantes de la 3a generación de la escuela de los Anales- fueron pioneros en este tipo de investigaciones. Según ellos, las imágenes son una excelente fuente para conocer el pasado porque expresan: las creencias, los valores, las ideas y los sentimientos de las sociedad que las crea. Por su parte Spencer Weart (1987) sistematizó aún más el estudio de la interacción entre imágenes y eventos históricos y propuso dos líneas de investigación: 1) La forma en que las imágenes representan los eventos históricos y los asocian con determinados valores, emociones,

prácticamente todos los asuntos relacionados con la energía nuclear. En los años posteriores la CEA estableció los que serían sus principales objetivos: producir bombas A (de fisión) en serie, desarrollar un reactor para la propulsión de submarinos, inventar una bomba H (de fisión/fusión) y generar energía eléctrica mediante procedimientos nucleares. Las metas trazadas por la CEA consolidaron, ampliaron las instalaciones del ciclo industrial nuclear desarrollado durante el Proyecto Manhattan y elevaron considerablemente el volumen de los desechos.²

Los residuos nucleares -generados masivamente a partir de ese momento- fueron interpretados de muy diversas maneras por los distintos actores sociales. Los empresarios los consideraron un problema de costos. Los militares los interpretaron como un instrumento de espionaje. Los médicos como un problema de salud pública. Los políticos un problema menor. Los funcionarios de la CEA como un asunto de relaciones públicas. Estas diferencias de interpretación provocaron un verdadero caos en el manejo de los desechos radioactivos y ocasionaron daños directos en la salud de más de 20 000 niños, alrededor de 35 mil soldados, varios miles de trabajadores de la industria nuclear y decenas de miles de ciudadanos.

conceptos y creencias 2) el análisis de la influencia que ejercen las imágenes en las decisiones, las percepciones y las acciones de los diversos actores sociales.

² La fabricación en serie de bombas de fisión requirió de grandes cantidades de uranio enriquecido y propició la apertura de numerosas minas de uranio. La producción de la bomba de fisión/fusión creó la necesidad de producir grandes cantidades de tritio. El desarrollo de un reactor para la propulsión de submarinos requirió de la construcción del Laboratorio Nacional de Idaho. Los tres casos implicaron un importante aumento del volumen de los desechos.

La gravedad de los problemas causados por los desechos obligó a la CEA a buscar una *interpretación generalizada* de los desechos nucleares que permitiera unificar las formas de clasificación, las normas de operaciones, las técnicas para manejarlos, el tipo de instalaciones que se emplearían para depositarlos y el desarrollo de instrumentos para monitorear el medio ambiente. Con ese fin creó la Rama Sanitaria, una pequeña parte de la División de Ingeniería que se encargó a partir de ese momento de homogeneizar los procedimientos para manejar la basura. La Rama fue una instancia marginal y sus sugerencias fueron continuamente ignoradas. Sin embargo, a partir de 1951, la posibilidad de generar energía eléctrica de origen nuclear, modificó la correlación de fuerzas al interior de la CEA y la Rama Sanitaria adquirió un papel menos marginal. La historia de este capítulo recrea el proceso de negociación social de una *interpretación generalizada* de la desechos nucleares.

3. 2. ¿Cómo utilizar la energía que mueve al universo?

3.2.1 La presentación en público de la energía nuclear.

A diferencia de otras tecnologías, la presentación pública de la industria nuclear no fue una feria comercial, un espectáculo deportivo o una exposición de artefactos.³ Fue una sangrienta exhibición de poder destructivo empleado para asesinar a cientos de miles de civiles: la detonación de dos bombas atómicas, en Hiroshima y Nagasaki. Tan peculiar manera de mostrar una innovación técnica a la humanidad, fue seguida por una campaña de propaganda que enfatizó intencionalmente el carácter extraordinario de la nueva tecnología y el monopolio norteamericano sobre ella, con frases como: el "nuevo poder... contenido" por la bomba atómica, cuya energía es "la misma que mueve al universo", "está en manos del Presidente de los Estados Unidos".⁴

La deliberada exaltación del "misterioso poder atómico" se realizó con varios fines: disuadir al enemigo en conflictos diplomáticos,⁵ justificar las astronómicas erogaciones hechas durante el Proyecto Manhattan,⁶ disculpar el uso de la bomba contra cientos de civiles inocentes y granjearle popularidad a la industria nuclear. La propaganda del gobierno estadounidense provocó un enorme impacto en todo el mundo y en la propia

³ La forma en que las tecnologías han sido presentadas al público es muy variada: la energía eléctrica fue exhibida por primera vez mediante anuncios luminosos, los automóviles en carreras deportivas y muchas máquinas y herramientas en exhibiciones comerciales.

⁴ (Weart, 1987, p. 101)

⁵ Harry S. Truman, quien era Presidente de E.U. afirmó que "la utilidad real de las bombas era la posibilidad de emplearlas como arma para las disputas diplomáticas y políticas". (Weart, 1987, p. 138)

⁶ (Sherwin, 1987).

sociedad norteamericana. Después de agosto de 1945 apareció un aluvión de imágenes sobre "lo atómico" en publicaciones científicas y de divulgación. Por citar un caso, entre 1945 y 1953 se produjeron 300 publicaciones populares sobre el tema.

La súbita aparición de "lo nuclear" en el imaginario colectivo, generó un torrente de imágenes, numerosas expectativas y una gran variedad de interpretaciones, que rebasó los objetivos de la campaña propaganda, provocó reacciones inesperadas⁷ y generó numerosas expectativas. Además auspició que muy diferentes sectores de la sociedad se formularan dos importantes preguntas: ¿cómo utilizar "la energía que mueve al universo"? y sobre todo ¿para qué?.

⁷ Las imágenes de lo nuclear provocaron muchas reacciones inesperadas, los ejemplos son abundantes. Uno de ellos se desarrolló durante los años cuarenta, cuando la revista The Bulletin of Atomic Scientists le solicitó a la Asociación de Psicólogos Americanos un estudio sobre la forma en que habían reaccionado los diferentes sectores de la sociedad estadounidense ante "La Bomba". La investigación reveló que: "los senadores escuchaban a los científicos con la misma actitud que los indios escuchaban a sus shamanes". El caso más ilustrativo fue el del Senador Brien McMahon, quien quedó profundamente impactado por la existencia de la energía nuclear. En cuanto se enteró de la tragedia de Hiroshima suspendió sus vacaciones, regresó a su oficina y dedicó largas jornadas a estudiar los "misterios de la energía atómica". Su entusiasmo por la tecnología nuclear fue tan grande que sus compañeros de legislatura le apodaron el "Senador atómico". El asunto hubiera quedado en una anécdota chusca si no hubiera sido porque el legislador convenció a sus colegas de cámara de aprobar un enorme presupuesto para subsidiar la producción de plutonio. Este tipo de reacciones se presentaron también en muchos otros empresarios, políticos, militares, científicos y consumidores que respondieron a las imágenes sobre la "reacción en cadena" con actitudes igualmente apasionadas de terror o esperanza (Weart 1987).

3.2.2 La discusión sobre los usos de la reacción en cadena.

La energía nuclear fue interpretada de diferente manera en los diversos países del mundo. Harry S. Truman la consideró un arma diplomática.⁸ José Stalin la apreció como una amenaza inminente para la seguridad de la URSS y ordenó brindarle todos los recursos técnicos y financieros a los científicos del Instituto de Física para que construyeran la bomba A.⁹ Los movimientos populares de Europa oriental la interpretaron como una amenaza. Algunos gobiernos de Europa occidental la valoraron como un instrumento que les brindaría seguridad. La tensión entre los países del Este y el Oeste aumentó considerablemente.¹⁰ El Congreso de la Unión de México se apresuró a aprobar una nueva legislación para proteger el uranio mexicano.¹¹ Y así, cada una de las sociedades domesticó de diferente manera la información sobre la energía nuclear.

Al interior de la sociedad estadounidense también surgieron diferentes interpretaciones. La exaltación del poder atómico provocó un intenso debate respecto a si la energía nuclear debía usarse con fines pacíficos o militares, si debía controlarla una institución nacional o internacional, y si su carácter debía ser público o privado. Adicionalmente surgieron muy diversas propuestas respecto a cuáles serían sus principales aplicaciones. Respecto a este último punto las propuestas fueron muy

⁸ (Sherwin, 1987) y (Holloway, 1996).

⁹ (Holloway, 1996).

¹⁰ Historian Committe for Open Debate About Hiroshima en (Air Force Association, 1995).

¹¹ (Cabral, 1992).

numerosas, algunas se concretaron en la realidad y otras permanecieron como meros proyectos.

En 1945 William Mc Dermott, planteó que la energía nuclear podría utilizarse para mover montañas, abrir canales, deshacer "icebergs", y en suma, inaugurar la ingeniería planetaria¹² mediante explosiones atómicas pacíficas. En 1946 Holmes y Houtermans, midieron la radiación de diversos materiales y estimaron que la Tierra tenía entre 2 y 3 millones de antigüedad.¹³ En 1947 W. F. Libby usó por primera vez la técnica del carbono 14 para establecer la antigüedad de un cabello egipcio.¹⁴ En 1948 Harold Wolf escribió en la revista *Coronet*, que la radiación, podría provocar mutaciones y usarse para producir maravillosas subespecies vegetales y animales. Un periodista apellidado Langer, quien escribía en revistas populares, dijo que la energía atómica "libraría al agricultor de la necesidad del sol".¹⁵

Las propuestas de corte militar también fueron numerosas. El ejército propuso medir los efectos de la radiación en el cuerpo humano¹⁶, usarla como arma y adiestrar a los soldados en los azares de la guerra atómica. La Marina sugirió, utilizarla para la propulsión de submarinos y barcos. En 1946 la Fuerza Aérea planeó construir un avión de impulsado por energía nuclear, para lo cual, echó a andar el Proyecto de Propulsión

¹² (Del Sesto, 1986.).

¹³ (Seaborg, 1971).

¹⁴ Ibid.

¹⁵ (Del Sesto, op cit.)

¹⁶ (IIER, 1994a).

Nuclear¹⁷. tros militares propusieron construir más bombas y/o fabricar bombas aún más poderosas.

Las diferentes propuestas civiles y militares requerían de distintos procedimientos y artefactos. Algunas planteaban aprovechar la radiación natural y requerían materiales radioactivos existentes en la naturaleza. tras propuestas se basaban en la producción de radioisótopos producidos artificialmente, para los cuales podían emplearse aceleradores de partículas. Algunas más se basaban en la reacción en cadena y requerían combustible enriquecido en grandes cantidades.¹⁸

El debate sobre la forma en que debería utilizarse la *reacción en cadena* tuvo un momento muy importante durante la discusión de la Ley Atómica realizada en 1946. Como hemos mencionado antes las disyuntivas más importantes giraron en torno a su uso pacífico o militar, su administración nacional o internacional y su carácter público o privado.

Durante la discusión de la ley se conformó un grupo de políticos, científicos, empresarios y militares, con grandes coincidencias respecto a la forma en que debería ser manejada la industria nuclear. Los políticos fueron dirigidos por Bryan Mc Mahon,

¹⁷ El proyecto recibió importantes subsidios gubernamentales hasta la administración de John F. Kennedy (Dei Sesto, 1986).

¹⁸ En función de los objetivos que se persiguieran se requería de distintos tipos de instrumentos. Por ejemplo si el objetivo era determinar la antigüedad de un cabello egipcio se necesitaba un dosímetro, pero si se quería obtener mutaciones genéticas de una planta se necesitaba un reactor para producir determinados radiosótopos, si la meta era iluminar los instrumentos de navegación de un barco se requería de muy poca energía y bastaba con una pila de Mosley basada en la utilización de radiación natural. En cambio, si el objetivo era producir una super/explosión se requería de grandes cantidades de energía y se necesitaba un reactor capaz de producir plutonio.

también conocido como el "Senador Atómico". Los científicos, fueron encabezados por David Lilienthal (autor de la "Ley Atómica"), Edward Teller (coordinador de físicos durante el Proyecto Manhattan), Glenn Seaborg (descubridor del Plutonio) y James B Conant (rector de la Universidad de Harvard). A ellos se sumaron empresarios de la General Electric y militares como Hymann Rickover.

El grupo simpatizó con la idea de mantener el monopolio estadounidense sobre la energía atómica. Consecuentemente planteó que la energía nuclear debería ser administrada por el gobierno de los Estados Unidos. Consideró que el carácter público de la industria nuclear era compatible con los negocios y que no existía contradicción alguna entre sus usos pacíficos y militares.

Finalmente, la Ley Atómica recomendó la creación de la Comisión de Energía Atómica (CEA). La CEA sería una institución civil encargada de administrar las instalaciones nucleares, otorgar los contratos para los proyectos, controlar y construir los arsenales y administrar los desechos. Dicha Institución se convirtió en el principal espacio de negociación sobre el rumbo que debería seguir la industria nuclear.

3.2.3 Los objetivos de la industria nuclear

El grupo conformado durante la aprobación de la Ley Atómica, denominado por algunos autores como el grupo de los "barones nucleares" desplegó una intensa

campaña al interior y al exterior de la CEA y logró imponer, en diferentes momentos, los que se convertirían en los cuatro objetivos principales de la industria nuclear para ese período: a) en 1946 estableció el objetivo de producir bombas atómicas en serie b) en 1949 se propuso la invención de un reactor para la propulsión de naves de la Marina c) en 1950 se planteó la fabricación de una "superbomba" de fisión/fusión o Bomba H d) En 1952 se fijó como derrotero adaptar los reactores diseñados para la propulsión de submarinos para la generación comercial de energía eléctrica.

El objetivo de producir bombas de fisión en serie respondió a la necesidad de superar los métodos artesanales que se habían empleado hasta entonces. La producción de las cincuenta bombas tipo Mark 3, con que contaban los arsenales norteamericanos hasta 1948 era una tarea sumamente complicada antes de introducir métodos de producción en serie. "Su complicado y deficiente diseño, hacía de las operaciones de ensamblado una verdadera Odisea... [se] necesitaban cuarenta hombres y más de tres días... para armar una sola bomba. Pesaban 4 545 kilogramos y eran tan voluminosas que los compartimientos de bombas de los B-29 que las transportaban tenían que ser modificados".¹⁹ Fue por estas razones que a partir de 1946 la CEA trabajó en el diseño de un nuevo modelo, las bombas tipo Mark-4, con grandes ventajas respecto a las anteriores. El trabajo desarrollado para miniaturizar su tamaño y reducir su

¹⁹ (Nadal, 1991, p. 66)

peso, dio resultados en 1951 cuando se fabricó "la primera bomba atómica... producida con métodos modernos de producción en masa".²⁰

La invención de un submarino con propulsión nuclear fue el resultado de una lucha entre los diversos componentes de las fuerzas armadas estadounidenses. En 1946, los oficiales de la Marina estaban muy preocupados por el terreno que habían perdido frente a la Fuerza Aérea porque ésta contaba con armas atómicas. En consecuencia, decidieron enviar una delegación, encabezada por el Almirante Hyman Rickover, al Laboratorio Nacional Clinton, para que aprendiera las técnicas atómicas. El Almirante e ingeniero naval aprendió con avidez, la nueva tecnología y de paso aprendió a manejar la dinámica Burócrática de la industria nuclear.²¹

El Almirante Rickover tejió una alianza entre la CEA, la Marina, algunas universidades y la compañía Westinghouse. Esta última estaba particularmente interesada en explorar el uso de la energía atómica para producir energía eléctrica. En 1949 Hyman Rickover logró formalizar el Programa Nacional de Propulsión Nuclear cuya sede sería el Laboratorio Nacional de Idaho.²²

²⁰ (Nadal, 1991, p. 66)

²¹ (Ford, 1982).

²² Los submarinos usados durante la Segunda Guerra Mundial requerían propulsión de dos tipos: diesel en la superficie y eléctrica durante las inmersiones. La energía eléctrica se obtenía mediante el funcionamiento de los motores diesel, por esta razón los submarinos tenían que salir frecuentemente a la superficie enfrentando el peligro de ser descubiertos. Además la necesidad de abastecerse a intervalos relativamente cortos los obligaba a tocar tierra, lo cual los hacía vulnerables a la detección enemiga (Nadal, 1991). Un submarino con propulsión nuclear tendría varias ventajas: no requeriría oxígeno, contaría con una fuente de poder sumamente compacta, podría realizar inmersiones prolongadas y efectuar grandes recorridos. Por lo tanto sería mucho más difícil de detectar (Morrison, 1984).

El tercero de los objetivos establecidos por la CEA, la producción de una bomba de fisión/fusión o bomba H, fue resultado de una serie de acontecimientos. En el contexto del bloqueo soviético a Berlín, el triunfo de los comunistas en Checoslovaquia y la victoria de Mao Tse Tung en China, el 29 de agosto llegó a Estados Unidos la información de que la Unión Soviética había detonado su primera bomba nuclear.²³ El impacto psicológico en la sociedad norteamericana, de la detonación efectuada en el polígono de Semipalatinsk, ¡fue enorme!²⁴ El gobierno estadounidense²⁵ enfrentó la situación tomando la decisión de construir un nuevo modelo de bomba nuclear, la bomba de fisión/fusión o bomba H que garantizara su supremacía frente a la URSS.²⁶ Su decisión inició una nueva etapa de la carrera armamentista nuclear.

²³ El 29 de agosto de 1949 la Unión Soviética detonó su primer artefacto atómico en las instalaciones del campo de pruebas Semipalatinsk 21, ubicado en las estepas de Kazajastán. A las dos de la mañana el físico Eugene Kurchatov dio la orden de detonar la bomba. Habían pasado nueve años desde que el físico presentó el primer proyecto de utilizar la *reacción en cadena*; y cuatro años desde que Stalin ordenó apoyarlos con todos los recursos necesarios. El principal objetivo de la detonación era cuantificar la potencia y los efectos de una detonación atómica. Los científicos y los militares soviéticos habían hecho numerosos esfuerzos por calcular ambas variables desde el momento en que supieron de las detonaciones de Hiroshima y Nagasaki. Para ello habían realizado una gran cantidad de experimentos de recolección de datos sobre dichas explosiones. Como todos sus intentos habían fracasado, el día de su primera detonación esperaban con gran ansiedad que ésta, les permitiera despejar dichas interrogantes (Holloway, 1994 pp. 213-220).

²⁴ Entre 1945 y 1949, el gobierno estadounidense realizó una intensa campaña de propaganda durante la cual enfatizó el poder destructivo de la bomba nuclear y el hecho de que Estados Unidos era el único país que la poseía. Sin embargo la campaña de propaganda tuvo un resultado inesperado. Cuando la Unión Soviética detonó su primera bomba nuclear, la información sobre el poder destructivo de la bomba nuclear, con que el gobierno estadounidense había bombardeado a sus ciudadanos provocó que cundiera el pánico ante la ruptura del monopolio estadounidense. La campaña de propaganda se había basado en la falsa premisa de que la URSS tardaría veinte años para producir su propio artefacto nuclear (Weart, 1987).

²⁵ El gobierno estadounidense desaprovechó durante los cuatro años anteriores, la oportunidad de llegar a algún acuerdo con la URSS y crear una organización internacional para garantizar el uso pacífico de la energía atómica.

²⁶ Para funcionamiento y origen de la Bomba de Hidrógeno: ver anexo 1.

En 1952, una amplia alianza, integrada por los barones nucleares, propuso utilizar los reactores diseñados para la propulsión de submarinos para generar energía eléctrica con fines comerciales.²⁷ Esta decisión abrió la posibilidad de una amplia expansión comercial de la industria nuclear y le permitió al gobierno estadounidense "satisfacer" las expectativas que él mismo había creado respecto a la energía nuclear.

Los tres primeros objetivos fijados por la CEA durante el período 1946-1953 priorizaron las necesidades militares sobre las civiles. A partir de esta situación el cuarto objetivo que era la generación de energía eléctrica quedó subordinada al cumplimiento de los primeros. Por lo tanto los parámetros de eficiencia, el tipo de combustible y el tipo de reactores empleados en la industria civil se ajustaron para hacerlos compatibles con las necesidades militares. Por ejemplo, las necesidades de un reactor para la propulsión de submarinos y la generación comercial de energía eléctrica son completamente diferentes. Un reactor para un submarino militar requiere de potencia, rendimiento del combustible y silencio. Un reactor para la generación comercial de energía eléctrica requiere de seguridad, limpieza y bajos costos. Por lo tanto la utilización de un reactor diseñado originalmente para la Marina para generar energía eléctrica, implicó la utilización de un combustible inadecuado para las necesidades de seguridad y limpieza de un reactor civil.²⁸

²⁷ Para funcionamiento de plantas nucleares generadoras de energía eléctrica: ver anexo 2.

²⁸ De hecho, los reactores diseñados para la propulsión de submarinos se construyeron tras una fase de experimentación sumamente breve. Lo mismo ocurrió con los reactores para la generación de energía eléctrica, los cuales fueron construidos a escala industrial después de una corta fase de experimentación y sin el tiempo suficiente para valorar su seguridad y su competitividad económica. La falta de un auténtico

En conclusión, la Comisión de Energía Atómica pudo haber utilizado la energía nuclear para fines muy diversos. Los objetivos seleccionados por ella descartaron otros senderos tecnológicos. La decisión de producir bombas A en serie, desarrollar la propulsión de submarinos, inventar la bomba H y generar energía eléctrica fue el resultado entre otras cosas de la capacidad que tuvo el grupo de los barones nucleares para imponer sus puntos de vista. Su triunfo sobre otras interpretaciones tuvo numerosas consecuencias.

3. 3. La generación masiva de desechos nucleares.

La ruta trazada por la CEA reafirmó y expandió un costoso, complejo y peligroso ciclo industrial. Desde su construcción en el período anterior cada una de las fases del ciclo industrial nuclear generó grandes cantidades de una extensa variedad de sustancias inútiles y peligrosas.²⁹ La extracción y molienda, el enriquecimiento, la quema de combustible, el reprocesamiento, el almacenamiento y la limpieza producen grandes cantidades de basura radioactiva. De hecho: "cada paso en la producción de partes y materiales para las cabezas nucleares genera basura y otros subproductos".³⁰ Inclusive

debate científico y tecnológico sobre su eficacia y la ausencia de escrutinio público sobre las plantas nucleares para generar energía eléctrica, lo exentaron del proceso de depuración por la que cursaron otras ramas de la industria civil.

²⁹ Vid. cap. 1.

³⁰ (U.S. Department of Energy /Office of Environmental Management, 1995, p. 23)

las actividades de limpieza - que se introdujeron en forma muy incipiente en esta época- también generaron nueva basura.

Aunque el ciclo industrial nuclear ya existía desde el período 1942-1945, a partir de 1946 los nuevos objetivos establecidos por la CEA, ampliaron el número de instalaciones, agregaron o intensificaron algunas fases del ciclo y consecuentemente aumentaron el volumen de la basura. Entre los ejemplos que pueden mencionarse al respecto se encuentran los siguientes: la extracción de uranio en territorio estadounidense, el aumento en el volumen del combustible producido,³¹ la introducción de *reactores de cría* (cuyas características las explicamos infra) y la sistemática realización de pruebas nucleares.

Al terminar la Segunda Guerra Mundial el uranio fue considerado como una "materia prima estratégica".³² Debido a que apenas comenzaba la exploración sistemática de los yacimientos y se tenían pocas reservas probadas, se le consideró como un mineral relativamente escaso.³³ En estas condiciones continuó la explotación de yacimientos ubicados en Zaire y Canadá. Sin embargo, la novedad fue que se estimuló la exploración y explotación de los yacimientos ubicados en territorio

³¹ Los cuatro objetivos establecidos por la CEA crearon la necesidad de producir grandes cantidades de uranio enriquecido y plutonio. El grado de enriquecimiento del uranio puede variar entre 20 y 85% del uranio 235 dependiendo de los objetivos para los que va a emplearse. Un combustible poco enriquecido es mucho menos contaminante y más seguro, sin embargo, debido a que la CEA deseaba combustible que pudiera utilizarse casi indistintamente en reactores civiles o militares, la industria estadounidense optó por la producción de uranio altamente enriquecido. Esta situación se mantuvo vigente entre 1943 y 1964 y provocó un rápido incremento en el volumen de los desechos. El plutonio se utilizó hasta 1992 casi exclusivamente en reactores administrados por el gobierno y se empleó fundamentalmente para producir armas, propulsar submarinos, producir más plutonio y realizar investigaciones científicas.

estadounidense, dando lugar a una verdadera "fiebre del uranio"³⁴ y a la apertura de cientos de minas.³⁵ De tal manera que para 1948 se habían extraído 38 000 toneladas de uranio provenientes de minas ubicadas en Estados Unidos.

La *molienda* del material generó el 96% del total del volumen de los productos radioactivos.³⁶ La mayor parte de los desechos sólidos provenientes de las minas se depositaron a cielo abierto y sin ninguna clase de contenedores, por lo cual, esparcieron grandes cantidades de radiación en el aire. Fue hasta 1978 cuando el Congreso recomendó su *estabilización*.³⁷ Esta fase requirió y contaminó grandes cantidades de agua, la cual se vertió a los ríos sin ninguna clase de tratamiento.

El *enriquecimiento* de uranio y la producción de plutonio generaron miles de toneladas de desechos. Buena parte de ellos se dispersó en el medio ambiente durante emisiones rutinarias y otra parte se conservó en las instalaciones nucleares en carácter de desechos. En muchos casos la basura líquida se guardó en pozos, cuyas filtraciones contaminaron los suelos. En otras ocasiones, fueron vertidos en muchos ríos ocasionando graves perjuicios a la flora, la fauna y la población humana.

Durante este período se construyeron muchas nuevas instalaciones para *enriquecer* materiales fisibles. La CEA construyó tres plantas de difusión gaseosa

³² Ver (Maull, 1984).

³³ (Ibid., 1984).

³⁴ (Shapiro, 1981).

³⁵ (Lee, 1984).

³⁶ (Lee, 1992).

³⁷ (U.S. Department of Energy /Office of Environmental Management, 1995.).

para enriquecer uranio, en Oak Ridge y otras tantas en Paducah, Kentucky y Portsmouth, Ohio, Edificó cinco reactores adicionales en Handford y cinco nuevos reactores de agua pesada, para producir plutonio y tritio en Savannah River, Carolina del Sur. La construcción y operación de estas nuevas instalaciones aumentó considerablemente el volumen de los desechos respecto al período anterior. Los residuos generados durante la fase de enriquecimiento se les denomina "colas de enriquecimiento", las cuales, provocan una extensa contaminación con solventes, policloruros, metales duros y sustancias tóxicas.³⁸

En 1949 se fundó el Laboratorio Nacional de Motores Idaho cuyo objetivo fue diseñar reactores para la propulsión de submarinos. En él se construyeron y probaron los primeros "reactores de cría",³⁹ utilizados para generar energía eléctrica y propulsión de submarinos. También se construyeron 52 reactores experimentales. En 1953 se edificó además una Planta de Procesamiento Químico para recuperar uranio del combustible quemado en reactores gubernamentales. Las instalaciones de Idaho produjeron desechos radioactivos de "bajo nivel", "combinados", de "alto nivel" y "transuránicos", además de solventes, combustibles fósiles, ácidos y anticorrosivos.

La fabricación de las bombas de fisión/fusión implicó la construcción de instalaciones para la fabricación de tritio, un radioisótopo del hidrógeno. El 23 de

³⁸ (U.S. Department of Energy /Office of Environmental Management, 1995).

³⁹ Un reactor de Cría genera más combustible del que consume. Utiliza como combustible uranio enriquecido y genera plutonio. Sobre el Laboratorio Nacional de Ingeniería de Idaho y el reactor de Cría ver ANEXO 3.

septiembre de 1949 el Presidente Harry S. Truman dio instrucciones para iniciar la construcción del complejo industrial de Savannah River. La planta fue encargada a la empresa Du Pont y comenzó a funcionar en 1953.⁴⁰

Otra novedad en el ciclo nuclear consistió en la realización sistemática de pruebas nucleares, en el Océano Pacífico y en Norteamérica. A partir de 1946 Estados Unidos instaló cinco campos de prueba en el Océano Pacífico: en los atolones Johnston, Enewetok, Bikini y las islas Marshall y Christmas.⁴¹ Los criterios "científicos" para la selección de estos lugares fueron poco rigurosos e implicaron una actitud discriminatoria respecto a los habitantes del Pacífico. Por ejemplo, según un documento militar, las islas Marshall fueron seleccionadas por criterios tan endebles como que no sufrían de "tormentas violentas y además permitían una fuerte contaminación por explosiones submarinas sin afectar seriamente a los peces".⁴²

Los costos de operación de esos campos resultaron demasiado altos por su lejanía respecto al territorio estadounidense. Por ello, a partir de 1952 se estudió la posibilidad de abrir uno nuevo campo de pruebas en suelo norteamericano. La selección de un lugar adecuado provocó una intensa discusión. Los empresarios deseaban instalarlo en un lugar lo más cercano posible a las ciudades, para abaratar costos; los militares deseaban un lugar aislado para alejarse de las miradas indiscretas; los ingenieros deseaban un lugar cercano a la "civilización" para no tener que tender largas

⁴⁰ (U.S. Department of Energy. Office of Environmental Restoration and Waste Management, 1993 a, p.6)

⁴¹ (Makhijani, 1991, p.70).

líneas ferroviarias, eléctricas, de agua y drenajes; los médicos aspiraban a un lugar lo suficientemente alejado de las ciudades para evitar riesgos a la salud.

Una comisión encargada de seleccionar la ubicación del nuevo campo de pruebas recomendó el desierto de Nevada. La propuesta fue objetada por el doctor Staffen Warren, director de Seguridad Radiológica, porque a su juicio, dicho lugar no reunía las condiciones de aislamiento requeridas. Además estaba ubicado en un punto donde los vientos soplaban de oeste a este, lo cual, implicaría que las nubes radioactivas formadas después de las detonaciones recorrerían largas distancias sobre el territorio estadounidense. Pese a los argumentos del doctor Warren, la CEA confirmó a Nevada como el nuevo campo de pruebas.⁴³

Las pruebas atmosféricas provocaron lluvias radioactivas,⁴⁴ aumentaron la dosis de radiación global de la tierra y pusieron en peligro a decenas de trabajadores, soldados, vecinos cercanos a las instalaciones nucleares y comunidades afectadas por

⁴² *Ibid.*

⁴³ (May, 1989).

⁴⁴ Una explosión nuclear genera diversos productos de fisión cuyas vidas medias van de fracciones de segundo a varios millones de años. En las detonaciones atmosféricas estos productos se elevan a grandes alturas, son transportados por los vientos dominantes a través de largas distancias y finalmente se depositan en el suelo. La inestabilidad en el núcleo de los productos de fisión tiende a la estabilidad mediante la emisión de rayos gamma o electrones, dichas emisiones tienden a disminuir con el tiempo. El impacto de estos productos en el ser humano depende entre otras cosas de la forma en que se dispersen en el ambiente, en ese sentido son muy importantes factores como la altitud en la cual se detona la bomba, la velocidad del viento, las condiciones climatológicas, etc.. Las bombas detonadas a nivel del suelo tienden a dispersar mayor cantidad de polvo radioactivo. Una hora después de una explosión de un megatón, la radioactividad es equivalente a una dosis de entre 10 (11) a 100 billones de curies, un día después la dosis tiende a disminuir hasta menos de 100 millones de curies. Una población expuesta a 100 rems de radiación sufrirá náuseas, diarrea, deshidratación, propensión a infecciones, pérdida de cabello y otros síntomas secundarios. Una dosis de 400 a 500 rems provocará la muerte por hemorragia interna, de más del 50% de la población expuesta (Tsipis, 1984, p.83).

las *manchas calientes* (ver infra). Además afectaron directamente a los habitantes de Micronesia, África, Norteamérica y Sudamérica.

Por otra parte el depósito de desechos -provenientes de las diversas fases del ciclo industrial nuclear- se realizó en diversos lugares. En la mayoría de los casos éstos se colocaron en construcciones provisionales dentro de las propias instalaciones nucleares. Sin embargo, los comités que decidieron la ubicación de las instalaciones nucleares⁴⁵ no incluyeron ningún criterio relativo a la sustentabilidad de los lugares, para contener y almacenar desechos.⁴⁶ Otra parte de los desechos se depositó en los mares. Por ejemplo 47 500 barriles de Cesio 137 y plutonio que constituían una parte importante de aquellos que se habían originado por las actividades del Proyecto Manhattan y durante los primeros años posteriores a la fundación de la Comisión de Energía Atómica se colocaron en el Santuario Marino Nacional de Farallones, al Oeste de la Bahía de San Francisco.⁴⁷ La cifra se incrementó a 5,040,000 pies⁴⁸ para el periodo 1944-1970.

3. 4. Diferencias de interpretación respecto a los desechos

⁴⁵ Por ejemplo, a partir de 1953, la planta Y12, de Oak Ridge produjo grandes cantidades de tritio para la fabricación de la Bomba H. Sus operaciones requirieron de grandes cantidades mercurio. Este fue bombeado a tres tanques de sedimentación y de ahí fue descargado a Fork Poplar, (U.S. Department of Energy, Office of Environmental Restoration & Waste Management, 1993).

⁴⁶ Al respecto pueden consultarse diversas historias locales de las instalaciones nucleares vgr. (U.S. Department of Energy, 1993); (U.S. Department of Energy, 1995); (U.S. Department of Energy, History Division, Office of Environmental Restoration and Waste Management, 1993) y (U.S. Department of Energy, Office of Energy Office of Environmental Restoration and Waste Management, 1992).

⁴⁷ Según declaró la Administración Atmosférica y Oceanográfica Nacional de Estados Unidos, en enero de 1990, (doc. citado por Stenehjem, 1992 p. 9).

⁴⁸ Ibid.

3. 4. 1. Las diferentes interpretaciones sobre los desechos.

Los desechos radioactivos generados por la industria nuclear fueron interpretados de muy diferente manera por cada uno de los diversos actores de la comunidad tecnológica nuclear. Los políticos, los militares, los empresarios, los funcionarios de la CEA e incluso cada una de las distintas divisiones de la Comisión de Energía Atómica los percibieron de maneras diferentes.

Los legisladores, los interpretaron como un obstáculo para el desempeño de los negocios. Consecuentemente *la Ley Atómica creó un régimen industrial de excepción, exento de supervisión externa, con bajos parámetros de seguridad y elevados subsidios*. Además dejó muchas lagunas respecto a quién debería hacerse cargo de los desechos.

Las empresas los interpretaron como un conjunto de sustancias "inútiles, costosas y peligrosas". Consideraron que eran poco atractivos, por las incertidumbres técnicas que existían sobre ellos, lo cual constituía "un obstáculo para aprovecharlos comercialmente".⁴⁹ Aprovechando la exención de responsabilidades que les brindó la ley, las empresas no tomaron en cuenta el problema de los desechos durante el diseño de las instalaciones y equipos, ni en los reglamentos de operaciones. El colmo del asunto fue que ni siquiera diseñaron depósitos para ellos y en la mayoría de los casos se limitaron a construir almacenes provisionales donde los depositarían hasta que fueran

enviados a otro lugar. Los ingenieros los vieron como un factor que elevaba los costos y diseñaron instalaciones y equipos para plazos mucho menores a los requeridos por las características de las sustancias. El diseño para vidas útiles muy cortas provocó que los equipos se deterioraran rápidamente, y que los contenedores se saturaran. Esta situación ocasionó constantes fugas e incluso accidentes. Por ejemplo los tanques para almacenamiento de basura radioactiva construidos en Hanford fueron diseñados para veinticinco años de vida útil⁵⁰ aún cuando contenían sustancias que sería peligrosas por plazos de hasta 10 mil años.

Por su parte, los funcionarios de la CEA subestimaron su peligrosidad y aprobaron procedimientos de trabajo peligrosos.

Entre las propias divisiones internas de la CEA existieron muy diversas interpretaciones sobre la basura. La División de Ingeniería vio el asunto de una manera más o menos rutinaria y se limitó a aplicar técnicas similares a las empleadas con la basura química.

Por su parte, los médicos de la División de Biología y Medicina, la interpretaron como un problema de salud. Su interés se centró en el desarrollo de métodos para procesar los desechos, separar radioisótopos peligrosos, evitar riesgos a la salud y recuperar las sustancias que pudieran servir para otros usos. Elaboraron tablas para estipular las dosis admisibles para el ser humano. Propusieron ubicar las instalaciones

⁴⁹ (Bruheze, 1992).

⁵⁰ (U.S. Department of Energy, 1995).

atómicas en puntos alejados de la población. Y a partir de 1949, fecha en que se creó la División de Seguridad y Salud de Operaciones centraron su trabajo en el seguimiento de la radiación y detectar grandes fugas.

La División de usos militares tuvo preocupaciones muy distintas: a partir de 1949 consideró que el estudio de la basura serviría para desarrollar instrumentos de espionaje capaces de cuantificar la cantidad de combustible enriquecido producido por la Unión Soviética. Consecuentemente, en 1949 llevó a cabo la Operación Green Run,⁵¹ durante la cual, dispersó intencionalmente grandes cantidades de yodo 131 con el objetivo de "desarrollar una metodología para que la inteligencia norteamericana pudiera tener un registro del emergente programa nuclear soviético".⁵² La operación afectó gravemente la salud de decenas de miles de niños norteamericanos que bebieron leche contaminada proveniente del complejo nuclear de Handford.

Adicionalmente, la División de usos militares exploró el uso de los desechos como veneno para usarlo en el campo de batalla, para ello; dispersó intencionalmente lantano 141 y tantalio 182 en territorio norteamericano; y fabricó radioisótopos para envenenar alimentos. Con ese mismo fin realizó diversos experimentos con humanos.⁵³

Las diferencias de interpretación fueron tan grandes que una misma sustancia fue tratada con métodos muy diferentes por cada una de las divisiones de la CEA. Por

⁵¹ Al respecto consultar: ANEXO 4.

⁵² (Stenehjem, 1992, p. 91)

⁵³ Por ejemplo, los científicos del DE inyectaron tritio y otras sustancias radioactivas a varios presos, con el objetivo de investigar los efectos de la radiación en el metabolismo humano. Además irradiaron a varias

ejemplo, el plutonio quemado fue visto por la División de Ingeniería como un "problema rutinario"; por la División de Biología como una sustancia que "requería de aislamiento"; por la División de Salud y Operaciones como "un riesgo laboral"; por la División de Usos Militares como un "arma ideal"; y por los empresarios como "un verdadero problema de costos".⁵⁴ El resultado de estas diferencias de interpretaciones fue que cada una de las divisiones relacionó al plutonio quemado con necesidades tan distintas como: desarrollar métodos de "procesamiento químico", realizar "investigaciones médicas", "diseñar equipos para los trabajadores", "desarrollar vehículos de transportación y dispersión", o crear un "seguro financiero contra posibles accidentes". Estas diferencias de interpretación provocaron numerosos problemas. Permitieron el establecimiento de procedimientos peligrosos, aumentaron el volumen de los desechos e incrementaron el monto de las emisiones rutinarias.

3.4.2 La Operación Crossroad.

La capacidad de uno u otro grupo social para imponer su interpretación influyó poderosamente en el curso de los acontecimientos, en la configuración de los problemas y en la magnitud de su efectos. Un buen ejemplo para ilustrar lo anterior fue la Operación

personas para estudiar la forma en que se podrían desarrollar medidas de protección para las tropas norteamericanas en caso de una eventual guerra nuclear (Makhijani, 1991).

⁵⁴ (Bruheze, 1992).

Crossroad realizada por la Marina de los Estados Unidos en el Atolón de Bikini, en julio de 1946.

El objetivo de la operación era probar que sus barcos eran capaces de resistir una explosión nuclear. En caso de alcanzarse esa meta se demostraría que la Marina jugaría un papel fundamental en caso de guerra nuclear. Esta idea era muy valorada por los oficiales de la Marina porque les permitiría recuperar terreno frente al Ejército y la Fuerza Aérea que eran los que poseían armas nucleares.

Para cumplir con sus objetivos, la Marina programó la realización de tres detonaciones nucleares, *Able*, *Baker* y *Charlie* durante las cuales colocaría varios navíos en lugares cercanos al "punto cero". Las explosiones se programaron para julio de 1949.

El primero de julio la Marina congregó a numerosos periodistas, científicos,⁵⁵ oficiales militares, congresistas y observadores internacionales⁵⁶ para que presenciaran la primera de las tres pruebas. La detonación *Able* se realizó en el aire y contaminó gravemente las aguas marinas. Pese a que la contaminación fue mucho mayor de lo esperado, los oficiales de la Marina decidieron continuar con la operación. El día 15 de julio, se realizó una segunda explosión denominada *Baker*. Esta dispersó dosis de radiación mucho más altas de lo previsto. Esparció en el agua, el equivalente a 5 000 toneladas de radio. Los velocímetros y los odómetros (instrumentos para evaluar la

⁵⁵ Muchos científicos declinaron la invitación porque consideraron que la detonación no tenía "ningún valor científico".

⁵⁶ (Goslin, 1994 b).

velocidad y la intensidad de la radiación) empezaron a dispararse. La explosión provocó lecturas de hasta 8 000 roentgens por día (superando 80 000 veces las dosis recomendables y 20 veces la dosis fatal).

El doctor Staffen Warren, médico encargado de la seguridad radiológica durante la operación, consideró dichas dosis como un grave riesgo para los marinos e informó de ésto a los mandos militares. A pesar de sus advertencias, William H. Blondy, el oficial de la Marina a cargo de la operación ordenó que una lancha entrara al área para medir la radiación, apenas cuarenta y un minutos después de la detonación. Una hora mas tarde los militares ordenaron que otro bote entrara a la zona. Durante las siguientes veintidós horas, un total de cuarenta y nueve barcos con 15 000 hombres a bordo ingresaron al lago Bikini.

El doctor Warren recibió constantemente información sobre los niveles de radiación y los consideró sumamente preocupantes. A las cuatro de la tarde del día 16 confirmó que los contadores Gager de profundidad detectaban niveles tan altos de radiación que implicaban un peligro mortal para los marineros ubicados en la zona. Inmediatamente informó del peligro a los mandos militares. Estos dieron la orden a algunos barcos de que se retiraran del área y se dirigieran con carácter de emergencia al canal Enneu o a mar abierto. Sin embargo, ordenaron que muchos otros barcos permanecieran dentro del atolón. El 16 de julio se descubrió que los barcos estaban "activados" por lo que se ordenó que todas las embarcaciones abandonaran la zona.

En los días posteriores los marineros continuaron expuestos a la radiación debido a que los oficiales autorizaron la utilización de los vaporizadores y la ingestión agua sumamente contaminada. Además, según reportó un miembro del equipo de seguridad radiológica los marinos del barco *Karl Morgan* y de muchos otros "se bañaban con agua radioactiva".⁵⁷

La situación se volvió crítica. Los barcos estaban activados. Los marineros se encontraban expuestos a altas dosis de radiación. No existían planes de descontaminación. Alrededor de 10 000 marineros⁵⁸ y 200 barcos se encontraban en peligro. La División de Seguridad Radiológica sugirió que se suspendiera la tercera detonación y se implementara un plan de emergencia. La División de usos militares opuso cierta resistencia, pero al final, suspendió la detonación Charlie y concentró todos sus esfuerzos en salvar a la tripulación y los barcos que habían resultado afectados.

El empleo de técnicas para descontaminar sitios afectados por la radiación nació durante ese desesperado intento por salvar las embarcaciones y tripulaciones que habían participado en la Operación Crossroad. Alrededor del 40% de los marinos que participaron en ella fueron asignados a tareas relacionadas con la limpieza de los barcos a lo largo de jornadas extenuantes.

El 27 de julio comenzó una larga lista de experimentos. El barco *New York* fue rociado con agua desde otros barcos que disparaban sus mangueras para incendios. Al

⁵⁷ (Makhijani, 1991, p. 18).

⁵⁸ De los 42 mil que participaron en la operación.

día siguiente, se disparó jabón en polvo, lejía, aceite diesel, nafta, ácido hidrociorídrico y sulfúrico. Nada dio resultado. Se probaron entonces el flúor, capas de almidón y carbón limpiador. Todo fue inútil. Los barcos continuaban activados. Se hizo un nuevo intento con compresoras de aire que rociaron pan, arroz, cocos, sandías, cebada y otros productos fáciles de conseguir en el Pacífico Sur, pero tampoco se tuvo éxito.⁵⁹

La desesperación, el cansancio, la intuición del peligro y las ganas de regresar a casa comenzaron a inquietar a las tripulaciones. El capitán del "Wichita" con 1 400 marineros a bordo declaró que la descontaminación estaba provocando un problema político y de disciplina, pues el cansancio y el miedo afectaban el ánimo de los marineros. Bajo estas circunstancias, el capitán presionó al "Jefe Blondy", para que autorizara "el regreso a casa". Sin embargo, el permiso fue negado.⁶⁰

El doctor Warren advirtió el peligro que correrían los marineros si continuaban a bordo de los barcos contaminados y seguían participando directamente en tareas de descontaminación. Recomendó pedir más equipos, limitar a 16 horas el tiempo que la tripulación debería estar en los barcos y retirar al personal que había sufrido las sobredosis más elevadas. La tensión a bordo de las naves crecía constantemente y los marineros se sentían cada vez más inquietos. Sin embargo, la mayoría de los capitanes,

⁵⁹ (Weisgal, 1994).

⁶⁰ Ibid.

desobedeció las instrucciones del doctor Warren por considerarlas como un obstáculo para el éxito de la operación.⁶¹

El equipo de Seguridad Radiológica intentó detener la indiferencia con que actuaban los oficiales de la Marina, advirtiendo que el tiempo límite de exposición debía ser de tres meses, pues de lo contrario, los marineros podrían sufrir esterilidad o tener hijos con defectos hasta por tres generaciones. Ante el peligro de una indiscreción por parte del equipo médico y las crecientes muestras de indisciplina entre los marineros, los oficiales terminaron por ceder. Muchos barcos fueron declarados "inabordables". El ocho de agosto 38 barcos fueron abandonados.

Dos días más tarde se realizó una reunión para negociar una *interpretación generalizada*, en la que participaron Blondy y Warren. En ella se acordó: suspender las tareas de descontaminación y autorizar un último abordaje, a los barcos contaminados, para rescatar algunos equipos.

El primero de septiembre comenzó el retiro del área. El 26 de septiembre partió el último hombre. Al día siguiente la playa estaba desierta y llena de barriles de aceite, maquinaria y cajas abandonadas... el agua del Atolón continuaba gravemente contaminada y según algunas muestras, la fauna marina de la zona acumuló fuertes dosis de radiación. Como corolario, muchos de los barcos fueron llevados a San

⁶¹ Mientras tanto, algunos científicos al servicio de la Marina interpretaron la situación como una valiosa oportunidad para investigar los efectos que provocaban las sustancias activadas sobre el cuerpo humano. Los oficiales de la Marina coincidieron con dichos científicos y autorizaron a realizar experimentos tomando a los marineros como conejillos de indias.

Francisco, California, donde se hicieron los últimos intentos por descontaminarlos. Ante el fracaso de estas últimas tentativas varios de los barcos fueron hundidos en las afueras de la Bahía.⁶²

Como puede apreciarse, por los eventos mencionados en este párrafo, *la existencia material de un amplio volumen de desechos radioactivos, no implicó que éstos existieran como algo dado, meramente material y con un significado inequívoco*. Por el contrario, *la basura estuvo sujeta a múltiples percepciones e implicó la colisión entre grupos que les otorgaban significados diversos*. De hecho, tal como ocurrió durante la operación Crossroad entre los médicos y los oficiales de la marina, los desechos radioactivos tuvieron un significado muy inestable durante todo el período analizado en este capítulo. Esa inestabilidad provocó una grave crisis en el manejo de los desechos y obligó a la CEA a esforzarse por crear una interpretación compartida y común entre los diversos sectores de la industria nuclear.

⁶² En 1953 un científico descubrió que los dosímetros empleados durante la Operación Crossroad, fueron diseñados partiendo del equivocado supuesto de que los rayos Gama indicaban cantidades proporcionales de rayos Alfa y Beta. Esta falsa premisa implicó que los equipos de dosimetría detectaron los rayos gama, pero cuantificaron mal o de plano omitieron la lectura de los rayos Alfa y Beta. Este error en la forma de representar la relación entre los diversos tipos de rayos expuso a 42 000 marinos a dosis mayores a las que autorizaban la Marina y la CEA. Consecuentemente estuvieron expuestos a dosis prohibidas, sin su consentimiento y bajo el riesgo de contraer enfermedades mortales o daños genéticos perjudiciales para varias generaciones. Por lo tanto, según Makhijani, (1992) se les debería indemnizar conforme lo establecen las leyes norteamericanas.

3.5. La institucionalización del caos.

3.5.1. El manejo de los desechos

El manejo de los desechos nucleares resultó sumamente complicado por tres razones: sus propias características físicas, la existencia de diferentes interpretaciones sobre ellos y la instauración de una administración sumamente descentralizada. Sus propiedades físicas (calor, corrosividad, dispersabilidad, radioactividad y peligrosidad) implicaron un verdadero reto ingenieril. El desafío fue aún mayor, porque su volumen comenzó a incrementarse rápidamente. Además la basura se componía de más de mil sustancias diferentes, mezcladas en innumerables combinaciones almacenadas en estados líquido, sólido y gaseoso. Por su parte, la diversidad de interpretaciones sobre la basura provocó grandes diferencias respecto a la forma en que debían ser manejadas. Finalmente, la excesiva descentralización ocasionó que las sustancias fueran tratadas con diversos métodos en cada una de las instalaciones.

David E. Lilienthal, quien encabezó la primera administración de la CEA, optó por una administración descentralizada de los desechos y otorgó amplia autonomía para que cada una de las instalaciones adoptara la forma en que los manejaría. Para ello creó cinco delegaciones de la CEA con cabecera en: Los Álamos, Oak Ridge, New York, Chicago y Hanford. Cada una de estas delegaciones desarrolló sus propias formas de

denominar, clasificar, normar, tratar y depositar las sustancias radioactivas, dando como resultado una gran variedad de técnicas para manejar los desechos.⁶³ Las diferentes delegaciones de la CEA exacerbaron la diversificación porque permitieron que cada laboratorio e instalación dictara sus propios reglamentos de operaciones. En consecuencia, cada una de las mil sustancias radioactivas fue denominada, clasificada, tratada y almacenada de diferente forma, en cada una de las instalaciones nucleares. Esta diversidad ocasionó un problema de por si difícil.⁶⁴

⁶³ Por ejemplo, el Laboratorio Nacional de Ingeniería de Idaho depositó la basura sólida de bajo nivel en cajas y/o en trincheras, a partir del 8 de julio de 1952. Las trincheras eran simples zanjas cavadas en el suelo y recubiertas con tierra. (Idaho National Engineering and Environmental Laboratory, 1997, pp. 9-10)

La basura líquida de bajo nivel contenía principalmente radioisótopos, cromo, y solventes. Se trató en tanques de precolado de superficie, tanques de precolado subterráneo, y pozos de inyección. Los tanques de precolado de superficie o subterráneos eran piscinas cuyo fondo era el suelo mismo, éste hacia las veces de filtro y colaba la basura antes de depositarla en los acuíferos. Los pozos de inyección eran tubos de acero largos y delgados que depositaban los líquidos en pozos drenados. En algunos casos estos agujeros tenían un fondo de basalto que filtraba la basura líquida antes de depositarla en los acuíferos, en otros casos los pozos no contenían ningún filtro y eran depositados directamente en los mantos freáticos.

La basura líquida de alto nivel se depositó en tanques de almacenamiento subterráneo. Estos últimos eran de acero y estaban rodeados por una pared de concreto (U.S. Department of Energy/History Division, 1993),

Mientras tanto, en Oak Ridge la basura líquida fue monitoreada en estanques y descargada directamente en los ríos aledaños sin ningún tratamiento químico para remover los radionucleidos peligrosos. La basura líquida proveniente de la planta X-10 fue colectada en tanques de concreto subterráneos hasta 1950. Después de esa fecha el proceso se sofisticó un poco al agregarse una fase consistente en enviar la basura a tanques de monitoreo, donde permanecía durante un mes en espera de que disminuyera la actividad radioactiva. Posteriormente era transferida a tanques de almacenamiento donde era decantada a una pileta colectora. De ahí podía ser enviada a una cazuela de evaporación, cajas o trincheras de almacenamiento, evaporadores o fallas geológicas (U.S. Department of Energy. Office of Environmental Restoration & Waste Management, 1993 pp.11-12).

⁶⁴ Durante el periodo 1946-1953 muchas empresas e instituciones que habían participado en el Proyecto Manhattan fueron sustituidas por otras. Por ejemplo la empresa Du Pont fue sustituida por la General Electric, la Universidad de Chicago por la Union Carbide. Debido a que la mayoría de las empresas fueron contratadas por obra, cada una de ellas desarrolló sus propios métodos tratamiento para los desechos, aumentando la diversidad de técnicas para tratar una misma sustancia (Goslin, 1994).

Bajo estas circunstancias, los niveles de seguridad y la sofisticación de las técnicas para manejar los desechos dependieron fundamentalmente de la correlación de fuerzas existente en tres diferentes niveles, entre: a) las distintas divisiones de la CEA b) las autoridades locales y centrales de la CEA y c) las empresas y las autoridades locales. Consecuentemente la investigación, las operaciones y el almacenamiento de los desechos fue diferente en cada una de las instalaciones.

Esta diversidad provocó numerosos problemas. Por ejemplo, la clasificación de los desechos fue distinta en cada laboratorio y en la mayoría de los casos fue sumamente arbitraria. La ausencia de un sistema único de clasificación impidió la realización de un inventario riguroso.

Por otra parte, el predominio al interior de la CEA, de las interpretaciones que menospreciaban el problema de los desechos tuvo enormes consecuencias. Prácticamente no se desarrolló investigación científica sobre ellos.⁶⁵ La ubicación de los lugares donde se construirían las instalaciones nucleares no incluyó ningún criterio relacionado con el almacenamiento de sustancias peligrosas. En la mayoría de los casos, el diseño de las instalaciones no contempló la construcción de espacios para depositar desechos. Consecuentemente la mayoría de los depósitos se improvisaron en

⁶⁵ Existe abundante información al respecto en una larga lista de fuentes. Vease por ejemplo: (Special Commission of International Physicians for the Prevention of Nuclear War, 1995); (US Department of Energy, Office of Environmental Restoration and Waste Management/Office of Technology Development a National Program Oak Ridge, 1994); (US Department of Energy Office of Environmental Management, 1995); (National Research Council, 1994) y (Hippel, 1985).

el último momento. Además se consideró que serían depósitos provisionales por lo cual se construyeron con materiales inadecuados para el largo plazo.

A esta situación se sumaron otros problemas. Existió un vacío jurídico sobre quién debía encargarse de los desechos. No se capacitaron los recursos humanos, ni se desarrolló el instrumental de dosimetría para manejar la basura. No se hicieron planes para contingencias. Se configuraron operaciones laborales de altísimo riesgo. Se careció de una señalización adecuada para advertir al público sobre los riesgos de la radiación. Y finalmente, la falta de comunicación entre los científicos que enfrentaban estos problemas impidió el intercambio de experiencias y obstaculizó la búsqueda de soluciones.

3.5.2. La primera tentativa de construir una *interpretación generalizada* .

El caótico manejo de los desechos provocó numerosas fugas, accidentes y conflictos con las comunidades aledañas a las instalaciones nucleares. Para 1947, la situación se había vuelto tan complicada que la CEA le solicitó a la Academia Nacional de Ciencias (ANC), la integración de una comisión de científicos que investigara la mejor forma de tratar los desechos. La Academia Nacional de Ciencias creó una comisión científica cuya misión consistiría en realizar un diagnóstico de la situación en que se encontraban éstos. La comisión descubrió que existía un verdadero caos en las formas

de representar y tratar la basura y recomendó la creación de un cuerpo especializado. En agosto de ese mismo año la CEA creó el Buró de Asesoría en Seguridad y Salud Industrial para resolver los problemas relacionados con la salud pública, la preservación de los recursos hidráulicos y los demás temas vinculados con la basura. El Buró funcionó con asesoría externa de la Academia Nacional de Ciencias. Esta última nombró como presidente de la comisión a Abel Wolman.

Durante la primera reunión en la que Walman fungió como presidente del Buró se realizó en diciembre de 1947, en Washington D. C. En ella se sentaron las bases sobre las cuales se realizaría una investigación de diagnóstico para detectar cuáles eran los principales problemas en el manejo de los desechos y cuál sería su solución. En abril de 1948, el Buró presentó los resultados de su investigación. El informe asentó la existencia de una gran variedad de métodos para tratar los desechos, cuya eficacia variaba de extremadamente buena a extremadamente mala, de una instalación a otra. Aunque el documento afirmó que las medidas de seguridad eran "excelentes" en lo general y que las condiciones de trabajo eran bastante buenas, aseveró que no existían datos confiables para evaluar integralmente las condiciones de seguridad y el impacto ambiental de las operaciones nucleares.⁶⁶

El texto afirmó también que:

⁶⁶ Además reportó un importante deterioro de los equipos y recalcó que muchas de las normas de operación que habían sido aceptables durante la Segunda Guerra Mundial ya no eran las más adecuadas adecuadas para tiempos de paz y mucho menos para el largo plazo. (Goslin, 1994 (a).

"en las presentes cantidades y con los métodos actuales [la basura se convertiría] en el largo plazo, en el problema más grave de la industria nuclear".⁶⁷

El diagnóstico consideró que muchas decisiones técnicas que habían sido tomadas bajo el apremio de la guerra, se habían vuelto incompatibles con las necesidades de una sociedad democrática. Por ejemplo, "las instalaciones [nucleares] fueron construidas y operadas [afirmó el documento] sin ningún escrutinio de las instituciones que emiten las normas públicas".⁶⁸ Esta situación propició la aceptación de prácticas que hubieran sido inaceptables y escandalosas si se hubiera realizado la mínima supervisión externa. Para ilustrar el punto, el informe mencionó que; en Oak Ridge se descargaba basura líquida, de diferentes niveles de radioactividad, en el río Clinch; Hanford gastaba cientos de miles de dólares en construir tanques y más tanques de desperdicios líquidos; Los Álamos tiraba su basura en los cañones adyacentes; Varios laboratorios más descargaban en el aire cantidades indiscriminadas de gases peligrosos.⁶⁹

El diagnóstico formuló una serie de recomendaciones. La más importante era la urgente necesidad *de unificar criterios para el manejo de los desechos*. Asimismo

⁶⁷ Ibid. p.7

⁶⁸ Ibid. p. 8

⁶⁹ Los resultados del diagnóstico coincidieron con otro estudio realizado por la CEA en 1948 (cuyas conclusiones fueron mantenidas en secreto durante las siguientes cuatro décadas). Según dicho estudio: "las operaciones de la Comisión de Energía Atómica han tenido implicaciones para los pueblos y para la población externa a las instalaciones... Por ello, es recomendable la creación de un grupo de expertos que

recomendó realizar a la brevedad posible una investigación que permitiera determinar la extensión de las rutas migratorias de los desechos, depositados en aguas subterráneas, ríos y suelos, así como, estudiar la extensión y las rutas de dispersión de gases. Por su parte, Arthur E. Gorman, quien también era miembro del Buró, recomendó asignar un ingeniero sanitario a la División de Ingeniería de la CEA. El documento planteó la importancia de permitir el intercambio de información entre científicos, para contrarrestar el aislamiento y la descoordinación que había provocado la administración descentralizada y el mantenimiento en secreto de información básica. Además urgió a crear un código ético legal que delimitara responsabilidades, en caso "de explosiones u otros daños a la vida y la propiedad".⁷⁰

Las recomendaciones del diagnóstico fueron muy mal recibidas por los funcionarios de las instalaciones nucleares. La mayoría de sus propuestas fueron ignoradas. La sugerencia de crear una División de Salud y Operaciones nunca se llevó a cabo.⁷¹ El llamado a unificar los criterios para el manejo de los desechos también fue ignorado. Apenas un mes después de que el Buró emitió sus recomendaciones, el

establezca, ¿quiénes han sido afectados por la radiación en el pasado?.. [y asumir] que los problemas más urgentes son los provocados por los depósitos de basura radioactiva" Stenehjem, 1992, p. 215).

⁷⁰ Ibid. p. 9

⁷¹ La División de Biología y Medicina era la instancia que podría haber asumido algunas de las funciones propuestas por Walman, pero ésta centró su trabajo en la investigación pura y en la investigación aplicada para fines militares de hecho nunca abordó las preguntas básicas que hubieran permitido mejorar la salud y la seguridad de las operaciones rutinarias.

Comité de Asesoría General de la CEA, aprobó una nueva descentralización que dejó en manos de cada laboratorio los problemas relacionados con los desechos.⁷²

3.5.3 La creación de la Rama Sanitaria.

A pesar del desinterés por muchas de las sugerencias realizadas por el Buró, Abel Walman obtuvo una importante victoria: persuadió a David Lienthal, Director de la CEA, de crear una Rama de Ingeniería Sanitaria, subordinada a la División de Ingeniería. La rama tuvo muy pocas atribuciones y constó solamente de dos miembros, Arthur E. Gorman y Joseph A. Lieberman, quienes habían sido alumnos de Walman. Ambos afirmaron años después que la única arma de la que dispusieron en ese momento: era la persuasión.⁷³

Sin embargo, a pesar de su carácter marginal, la Rama consiguió impulsar, así fuera incipientemente algunos avances en relación al manejo de la basura. Promovió la concientización y la educación de los técnicos de la CEA respecto a los problemas ambientales; inauguró la investigación y desarrollo de tecnologías para preservar el medio ambiente; auspició el estudio de los efectos provocados por los desechos; promovió una reclasificación de la basura radioactiva; incorporó temas relativos a la

⁷² Al interior de la CEA solo unas cuantas voces compartieron las preocupaciones del informe Wolman. Por ejemplo, Walter H. Zinn, Director del Laboratorio Nacional de Argonne, criticó la descentralización porque dispersaba esfuerzos en la atención del problema de los desechos.

⁷³ Bruheze, entrevista con Joseph A. Lieberman, Nov. 9, 1988, Bethesda, Maryland en (Bruheze, 1992, p. 150).

seguridad laboral en la agenda de la CEA; alertó la necesidad de brindar información al público sobre las actividades nucleares; e involucró a científicos externos a la CEA en la discusión de los problemas relativos a los desechos. Por ejemplo, en 1953 la Rama solicitó al Departamento de Ingeniería Sanitaria de la Universidad John Hopkins que realizara un estudio sobre el impacto de los depósitos de desechos radioactivos en los fondos marinos y en diversos ecosistemas terrestres. La investigación condujo *al primer encuentro científico sobre desechos radioactivos*, el cual se realizó en Pinceton en 1955.⁷⁴

A pesar de estos avances, la rama siguió ocupando un lugar marginal.⁷⁵ Sin embargo, en 1952 la CEA estableció el cuarto de los objetivos trazados durante este período; la generación nuclear de energía eléctrica. Esta nueva meta colocó a la industria nuclear a las puertas de una rápida expansión comercial. Pero para concretar esa posibilidad la industria nuclear necesitaba convencer a la sociedad de que sus operaciones eran seguras y que el problema de los desechos estaba básicamente resuelto. Esa circunstancia cambió la correlación de fuerzas al interior de la CEA y permitió que la Rama Sanitaria ganara cierto terreno.

Entre 1952 y 1953 la Rama y otros expertos externos a la CEA fueron invitados a participar en algunas de las reuniones donde se tomaron importantes decisiones sobre la

⁷⁴ (National Academy of Sciences, 1957).

⁷⁵ Sin embargo la gran mayoría de las propuestas formuladas por el equipo coordinado por Walman solo fueron puestas en práctica durante las 24 horas anteriores a las inspecciones que realizaban los integrantes de la rama.

expansión comercial de la industria nuclear. Aunque la participación de la rama siguió siendo marginal hasta la promulgación de la Ley Atómica de 1954, a partir de 1952, la rama logró participar, así fuera solo como asesora en: la selección de los lugares donde se instalarían los reactores civiles; la valoración de las tecnologías que se aplicarían; la reglamentación de las operaciones nucleares; la elaboración de las normas para el manejo de los desechos; la formulación de recomendaciones para la seguridad laboral; y el control de las emisiones al medio ambiente.

Sin embargo, la Rama no tuvo ninguna influencia en las cuestiones más relevantes como: el tiempo necesario para pasar de la fase de experimentación a la fase de realización a escala; el tipo de reactores que se utilizarían o los parámetros de eficiencia y seguridad. Pero a pesar de ello, su incorporación al proceso de planeación de la expansión comercial significó un salto cualitativo en materia de seguridad y cuidado ambiental.

En resumen, aún cuando el asunto de los desechos siguió considerándose secundario -de otro modo no se hubiera decidido ampliar un ciclo contaminante y peligroso - la necesidad de convencer a la sociedad de la seguridad, eficiencia y limpieza de la industria nuclear, permitió iniciar así fuera en forma incipiente, la investigación científica sobre los desechos e incorporar el tema en la agenda de la industria nuclear.

3.6 Conclusiones. La necesidad de una *interpretación generalizada* permaneció parcialmente insatisfecha.

La energía nuclear pudo utilizarse de muchas maneras distintas. Durante el período de 1946 a 1953, se presentaron numerosas opciones técnicas sobre la forma en que se podían utilizar la radiación y la reacción en cadena. La capacidad de los distintos grupos sociales para imponer su punto de vista jugó un papel fundamental en la asignación de recursos y el establecimiento de la orientación a la que se enfocaría el complejo nuclear.

El establecimiento de una alianza entre un grupo de militares, científicos, empresarios y políticos expandió un ciclo industrial contaminante y peligroso. Además creó un régimen industrial de excepción. Influyó en el establecimiento de los principales objetivos de la industria nuclear y la utilización de la reacción en cadena para producir bombas de fisión en serie, desarrollar la propulsión nuclear de submarinos, inventar las bombas de fisión/fusión y generar energía eléctrica.

Esta situación propició la generación masiva de una gran cantidad de desechos.

Las diferencias de interpretación y la forma en que fueron administrados los desechos potenciaron los problemas relacionados con su manejo: postergaron la investigación científica sobre ellos, incrementaron la inseguridad laboral y generaron un vacío jurídico respecto a las responsabilidades relacionadas con su generación y manejo.

Además promovieron un manejo deficiente, obstaculizaron el desarrollo de una clasificación común, eludieron la necesidad de construir depósitos, bloquearon la posibilidad de monitorear la dispersión de residuos radioactivos en el medio ambiente y cancelaron la oportunidad de valorar adecuadamente el impacto de la basura en la salud pública y el medio ambiente.

La derrota de las interpretaciones que representaban una posición más exigente respecto a la seguridad que debía regir las operaciones nucleares afectó la salud de cuando menos cuarenta mil marineros y veinte mil niños. Además expuso a los trabajadores de la industria nuclear a realizar operaciones peligrosas, causó graves daños a terceros países y convirtió en conejillos de indias a decenas de miles de ciudadanos estadounidenses.

La gravedad de los problemas ocasionados por los desechos generó la necesidad de contar con una *interpretación generalizada* de los desechos nucleares. La creación de la Rama Sanitaria fue un primer intento por darle respuesta a esta situación. Sin embargo, el predominio de las interpretaciones que desdeñaban las sugerencias de la rama perpetuó los problemas, retrasó la conformación de una interpretación común y subordinó el problema de los desechos al cumplimiento de los objetivos militares.

La decisión de utilizar la energía nuclear para generar energía eléctrica cambió la correlación de fuerzas al interior de la industria nuclear y permitió que la Rama

Sanitaria adquiriera mayor relevancia. Sin embargo, la subordinación de la industria nuclear a fines militares impidió que ésta se desarrollara en base a parámetros civiles.

CAPÍTULO 4

INTERPRETACIÓN Y REDISEÑAMIENTO DE LA TECNOLOGÍA PARA EL MANEJO DE LOS DESECHOS RADIOACTIVOS 1953-1970

4.1. Producción de signos y cambio técnico en el manejo de desechos radioactivos.

Durante el largo periodo 1954-1970 la industria nuclear se expandió más que nunca. Sus líneas fundamentales de expansión tuvieron objetivos militares. Sus resultados fueron la producción de 25 058 cargas nucleares y 100 submarinos de propulsión nuclear y la realización de 572 pruebas atmosféricas. Su expansión se complementó con dos líneas de corte civil: la construcción de la mayoría de los 443 reactores para la generación de energía eléctrica que existen actualmente en el mundo y la investigación científica. El crecimiento de la industria nuclear generó una enorme cantidad de desechos radioactivos, tóxicos y *combinados* (mezcla de los anteriores).

El problema de los desechos radioactivos se percibió de muy diferente manera al interior y al exterior de la industria nuclear. Aunque con matices, al interior de la industria nuclear predominó una interpretación que priorizó los objetivos militares, pugnó por una serie de privilegios en relación a otras industrias civiles y consideró a los desechos como un problema secundario. En cambio al exterior fue ganando terreno predominó una interpretación mucho más crítica respecto a los desechos. Las diferencias en el interior y el exterior de la comunidad nuclear influyeron en el rediseñamiento de la tecnología empleada para manejar los desechos radioactivos. De este modo la tecnología utilizada para manejar los desechos en 1954 era muy diferente a la que se empleaba en 1970.

La primera parte de este capítulo describe los principales objetivos establecidos por la industria nuclear, reseña las principales características del ciclo

industrial nuclear durante este período y estudia tres casos en los que el descontento social obligó a la CEA a rediseñar su tecnología para el manejo de los desechos. La segunda parte estudia tres casos en los cuales la tecnología en 1954 utilizada para manejar los desechos tuvo que ser rediseñada tras haber concitado numerosas impugnaciones. El primer caso es el de las pruebas nucleares atmosféricas, el segundo es el de la utilización de desechos mineros para construir casas habitación y el tercero es el de los depósitos realizados in situ en las propias instalaciones donde eran generados.

4.2. Características del ciclo industrial y generación desechos radioactivos .

4.2.1 Los objetivos de la industria nuclear.

Al inicio del período 1953-1970, el gobierno de Estados Unidos se propuso alcanzar una indiscutible superioridad militar nuclear frente a la Unión Soviética. Bajo esa premisa la industria nuclear civil quedó subordinada al cumplimiento de objetivos militares por lo cual se desarrolló con muy bajos parámetros de calidad y eficiencia en materia de seguridad ambiental y seguridad pública. La notable expansión de la industria nuclear militar y civil aumentó exponencialmente el volumen de los desechos. La manera en que éstos fueron manejados impidió el desarrollo de normas eficaces, procedimientos seguros y técnicas de tratamiento adecuadas. Como además persistieron notables diferencias de interpretación respecto a los desechos se crearon grandes diferencias en la forma de percibir el problema, al interior y al exterior de la comunidad nuclear.

A principios de 1953 el Presidente estadounidense Dwight Eisenhower se encontraba inmerso en la Guerra Fría contra el socialismo. Su preocupación fundamental era iniciar un vasto programa de ampliación y modernización de los arsenales nucleares y lanzar una ofensiva propagandística para ganarle la batalla psicológica a la Unión Soviética. El 5 de marzo de 1953 murió José Stalin. A partir de entonces la URSS intensificó el programa de construcción de su bomba H. Unos meses más tarde, el 12 de agosto la URSS detonó su primera bomba de hidrógeno.¹ La noticia del éxito soviético cayó como una bomba en los Estados Unidos: la URSS le estaba pisando los talones.

En ese contexto Eisenhower le pidió a su consejero C.D. Jackson² que acelerara la planeación de la operación Candor. Esta última consistía en una amplia campaña de propaganda dirigida contra la Unión Soviética. C.D. Jackson le presentó a Eisenhower un plan en el que subrayaba la capacidad de Estados Unidos para arrasar con la URSS. El plan fue rechazado por Eisenhower. Poco más tarde Sterling Cole, Presidente del Comité Conjunto sobre Energía Atómica le sugirió a Eisenhower que la campaña debería enfatizar que la construcción de bombas H en serie implicaría al mismo tiempo desarrollar la tecnología que permitiera disfrutar de los beneficios pacíficos de la energía Atómica.³ La idea le agradó mucho más a Eisenhower quien ordenó a C.D. Jackson que pusiera el

¹ La bomba fue diseñada teóricamente en el laboratorio Arzamas 16 mediante la colaboración de los científicos soviéticos Sakharov y Tamm y bajo la dirección de Kurchatov. A diferencia de la bomba A la bomba H fue un diseño soviético ruso y no una copia inspirada en un artefacto norteamericano (Holloway, pp. 294-217).

² Ex Vice Presidente de la empresa Time Incorporated.

³ (Weart, 1987, p.156)

acento en ese punto: el resultado final fue el *Programa Átomos Para la Paz*.⁴ De esta suerte el programa de modernización de los arsenales sería encubierto por una intensa campaña propagandística.

En ese contexto la Comisión de Energía Atómica estableció cinco objetivos básicos para la industria nuclear. El primero de ellos fue ampliar el número de ojivas disponibles en los arsenales. En los siguientes 16 años siguientes se profujeron 25 056 cargas nucleares.⁵ El segundo objetivo fue construir una amplia flota de submarinos de propulsión nuclear, de los cuales se construyeron 100. El tercero fue desarrollar varios programas de pruebas nucleares para mejorar los diversos modelos de bombas existentes en los arsenales estadounidenses. En esos años se realizaron 572 pruebas nucleares.

El cuarto objetivo consistió en desarrollar a escala industrial la construcción de numerosos reactores para la generación de energía eléctrica. Los reactores empleados para ese fin, adoptaron como combustible el uranio enriquecido en alto grado. La nascente industria nuclear civil creció a un ritmo acelerado, de hecho en ese período se construyeron alrededor de 300 reactores para la generación de energía eléctrica. Esto permitió a varias grandes compañías de energía eléctrica, química y petróleo aprovechar los subsidios en investigación, desarrollo de equipos y normas de excepción de la industria nuclear militar para obtener grandes ganancias.

⁴ El *Programa Átomos para la Paz* fue anunciado por Dwight Eisenhower en la ONU en diciembre de 1953. El programa incluyó becas para escritores, películas, visitas de profesores y alumnos a instalaciones nucleares y hasta una caricatura fabricada por Walt Disney (Weart, 1987, pp 157-165).

⁵ (Arkin, 1997).

El quinto objetivo fue realizar investigación científica tanto básica como aplicada. Dicha investigación exploró una gran diversidad de aplicaciones: investigaciones geológicas para determinar la antigüedad de la tierra, observación espacial mediante el análisis de la radiación proveniente del espacio exterior, radiometría para diagnóstico médico y tratamiento del cáncer mediante radiaciones. Así mismo se experimentó el uso de la baja energía proporcionada por la radiación natural para fabricar "pilas" basadas en el modelo Moseley (ver cap. 2), la investigación criminalística, la fabricación de materiales, la microscopía electrónica, y la esterilización de equipos médicos, basura y especies nocivas.⁶

4.2.2 El ciclo nuclear

La realización de éstos objetivos modificó la escala y la intensidad de algunas de las etapas del ciclo industrial nuclear y también alteró el volumen y la calidad de los desechos generados. Por ejemplo, el desarrollo a escala industrial de alrededor de 300 reactores para generar energía eléctrica aumentó considerablemente el volumen de los desechos mineros, de bajo nivel y transuránicos. La producción *en serie* de bombas de fisión/fusión aumentó el volumen de basura de alto nivel. La realización de pruebas nucleares aumentó notablemente el volumen de productos de fisión y productos activados dispersos en la atmósfera.

La producción de armas y la generación de energía eléctrica se basaron básicamente en el mismo ciclo industrial nuclear, aunque con algunas diferencias.

⁶ (Seaborg, 1971)

Ambas requerían de las fases correspondientes a la *extracción, refinamiento y enriquecimiento*. A partir de ese momento, la industria nuclear civil y militar tenían algunas necesidades diferentes. La industria militar fabricaba componentes para las bombas, ensamblaba las piezas y realizaba pruebas nucleares. Por su parte la industria civil pasaba a la quema del combustible en los reactores donde generaba energía eléctrica. En ambos casos fue común que se practicara el ciclo largo de la industria nuclear, es decir que se *reprocesara* el combustible quemado en los reactores.

La *extracción* de uranio continuó con la apertura de nuevas minas iniciada en el período anterior y con la intensificación de los ritmos de extracción de las minas existentes. Esta dispersó importantes cantidades de gas radón en la atmósfera. Originó el 90% del volumen ocupado por el total de los desechos, contaminó grandes cantidades de agua utilizadas para separar los minerales útiles del resto de la "ganga" y dañó gravemente los suelos.

El *refinamiento* de uranio continuó realizándose principalmente en Fernald, Ohio y Oak Ridge, Tennessee. Produjo radionucleidos como: el radón, el cesio 137 y el tecnecio 99 que contaminaron el aire, el suelo, la aguas subterráneas y los sedimentos de los lugares aledaños a dichas instalaciones industriales. Además de la polución en esos lugares con metales como el cromo y el bario, asbestos, pbc's y otras sustancias.

El *enriquecimiento* de uranio se llevó a cabo principalmente en Oak Ridge, Tennessee. Entre 1950 y 1968 dicha actividad dispersó 240 curies de radioactividad, provenientes del uranio, en el aire, el suelo y el agua.⁷

La producción de plutonio se efectuó fundamentalmente en Savannah River, Carolina del Sur y Hanford, Oregon. Esta operación produjo radionucleidos altamente contaminantes como: el argón 41, el rutenio 106, yodo 129 y tritio.

A partir de este momento el ciclo militar pasaba a la fase de fabricación de componentes de plutonio para las bombas, el cual se realizó principalmente en Rocky Flats, Colorado. Esta etapa generó y dispersó sustancias como el americio, el litio y berilio. Por su parte, el ensamblado y desensamblado (con fines de mantenimiento) de las cargas nucleares se hizo primordialmente en Pantex, Texas. Sus resultados también fueron fatídicos pues produjo grandes cantidades de torio.

Finalmente las pruebas nucleares realizadas en diversos campos de pruebas ubicados en el Pacífico y en Nevada Test Site, Nevada, generaron grandes cantidades de kriptón 85, antimonio 241, cobalto 60 y xenon 133, entre muchos otros radioisótopos peligrosos.

En el caso de la industria nuclear civil, la CEA tomó la decisión de subordinarla a la industria militar. La utilización de criterios militares aplicados a la configuración del complejo nuclear civil determinaron que las normas, los procedimientos, los instrumentos, las materias primas, los montos de seguro en caso de accidente, la protección laboral e incluso las leyes de información utilizados por la industria nuclear civil fueran apenas ligeramente mejores que los de la

⁷ (Makhijani, 1995, p. 229)

industria militar. Por ejemplo, la CEA seleccionó los reactores tipo BWR y el combustible enriquecido en grado nuclear, a pesar de que existían otras opciones como los reactores CANDU y la utilización de combustible enriquecido en un grado inferior al nuclear.

En suma creó un régimen industrial de excepción que otorgó una serie de privilegios a la propia industria nuclear civil como: la existencia de bajísimas normas de protección ambiental, seguridad civil y laboral, etc. Esta situación obstaculizó la investigación científica e impidió el desarrollo de una industria nuclear civil más eficiente y con parámetros de calidad y seguridad más altos.

La configuración de un sendero tecnológico militarizado elevó el monto de los desechos generados e incrementó sus efectos en el medio ambiente.

Si la prioridad hubiera sido desarrollar una industria nuclear civil con altos rendimientos económicos, poco contaminante y con altos márgenes de seguridad. el volumen de los desechos hubiera sido mucho menor. De cualquier forma aunque el ciclo industrial civil era un poco más corto implicó un volumen mucho mayor de combustible y desechos.

4.2.3 El manejo de los desechos.

El manejo de los desechos civiles y militares se realizó por separado. Según la Ley Atómica promulgada en 1954 los desechos radioactivos de bajo nivel quedó como responsabilidad de las empresas contratadas por la CEA mientras la basura de alto nivel quedó a cargo del gobierno federal. Pero incluso en este campo cada una de las divisiones de la CEA desarrolló su propio programa para el manejo de los

desechos. La División de Producción se encargó de los desechos militares y la División de Reactores de los civiles. Mientras tanto la División de Biología se encargó de normar su manejo. Sin embargo en la práctica, cada una de las instalaciones nucleares resolvió el problema a su modo.

Para ese entonces la basura líquida de alto nivel rebasaba los 62 millones de galones. La mayoría provenían de Hanford, Savannah River y de la operación de submarinos nucleares.⁸ El Laboratorio Nacional de Oak Ridge desarrolló una investigación para averiguar los problemas técnicos relacionados con la solidificación de la basura líquida y su depósito en camas de sal. El proyecto incluyó el depósito experimental de este tipo de desechos en Lyon, Kansas. El laboratorio Nacional de Idaho desarrolló una planta calcinadora de basura para convertir los desechos líquidos de alto nivel en granos sólidos.⁹ El complejo industrial de Hanford almacenó basura líquida de alto nivel directamente en grandes tanques cilíndricos y desarrolló técnicas para recuperar cesio 137 y estroncio 90 de la basura líquida. Savannah River los depositó en camas subterráneas. Este tipo de técnicas redujo en una tercera parte el volumen de los desechos acumulados en ese lugar entre 1957 y 1980.¹⁰

En 1955 la División de Reactores de la CEA le solicitó al Consejo de Investigación de la Academia Nacional de Ciencias (CI-ANC) que analizará cual sería el sitio idoneo para construir un depósito de desechos de alto nivel. Cinco años más tarde la ANS concluyó que ninguna de las instalaciones de la CEA reunía

⁸ (Hewlett, 1978, p. 6).

⁹ La planta calcinó y solidificó 500 mil galones de basura líquida entre 1955 y 1964 (Hewlett, 1978, p. 8).

¹⁰ (Hewlett, 1978, p. 10).

las características adecuadas para construir un depósito de ese tipo y la urgió a construir alguno en otro sitio. La División de Reactores rechazó la idea por las dificultades que implicaría trasladar los desechos de uno a otro lado. En 1956 la CEA estableció nuevas normas respecto a las dosis admisibles de radiación, las cuales implicaron la obligación de mantener permanentemente aislada del medio ambiente la basura radioactiva de alto nivel.¹¹ Un año más tarde la comisión del CI-ACN refrendó la necesidad de esta medida y sugirió que la basura líquida de alto nivel fuera depositada en camas de sal subterráneas o que fuera inyectada al subsuelo en niveles inferiores a los mantos acuáticos subterráneos¹².

Durante los siguientes ocho años la CEA realizó algunas importantes inversiones en investigación científica respecto a los desechos.

En mayo de 1966 el CI-ANC emitió un reporte final insistiendo en sus recomendaciones anteriores. Sin embargo el entonces Presidente de la CEA Gleen Seaborg consideró que el reporte estaba mal informado y decidió disolver la comisión del CI-ANC.

La forma en que la CEA manejo los desechos generó innumerables problemas en el largo plazo. Dicha institución escamoteó la información sobre ellos, desalentó la comunicación entre laboratorios científicos, impidió la coordinación entre instalaciones y realizó muy poca investigación científica sobre sus características. Paralelamente estableció normas para su tratamiento mucho menos rigurosas que las exigidas a otras industrias.

¹¹ (Hewlett, 1978, p. 6).

¹² (Hewlett, 1978, p. 7)

Paralelamente existieron importantes diferencias de interpretación tanto al interior de la comunidad tecnológica nuclear, como entre esta última y el resto de la sociedad. Por ejemplo, al interior, algunos funcionarios de la CEA consideraban a los desechos como "un problema menor" que aumentaba los costos, mientras otros los interpretaban "como un importante problema económico y de salud".¹³

Al exterior, también existieron diferencias sustanciales. Por citar un caso, en 1954 el director de la Sociedad Americana de Química, Harry M Fisher, los consideraba tan poco importantes que llegó a afirmar:

"El poder atómico transformará la apariencia de tu ciudad. Si tú vives en una comunidad afectada por el *smog*, llena de plantas industriales y chimeneas de fábricas, tu podrás ver como tu ciudad se transforma en un lugar limpio y saludable".¹⁴

Mientras tanto, una comisión de científicos externa a la CEA los consideró lo suficientemente peligrosos como para recomendar, que eran "un problema de seguridad ciudadana".¹⁵

A pesar de estos matices al interior y al exterior, podría decirse que al interior predominó una visión mucho más conformista, mientras al exterior existió una creciente preocupación respecto al problema de los desechos.

¹³ (AEC 1957, citado en Goslin, 1994, p. 11). En el mismo sentido puede citarse el caso de M. King Hubbert quien formaba parte de la División de Reactores y consideró que aunque había avances en el manejo de la basura de alto nivel, existían prácticas respecto a la basura de bajo nivel que si bien eran comprensibles en la etapa inicial de la industria nuclear eran justificables durante la guerra eran inadmisibles como una práctica rutinaria (Goslin, 1994, p. 14).

¹⁴ (Del Sesto, 1986. p. 63)

Las diferencias de interpretación sobre los desechos provocaron una serie de importantes problemas técnicos y sociales. La disparidad de opiniones entre empresarios y médicos se tradujo en la implantación de procedimientos peligrosos. La divergencia de intereses entre autoridades locales y federales influyó en el diseño y el uso de materiales inadecuados para instalaciones y equipos. La falta de consenso entre los científicos de la comunidad nuclear y los científicos externos a ella provocaron graves daños a las comunidades vecinas a las instalaciones.

Para ilustrar mejor estas diferencias entre la percepción del problema de la basura al interior y al exterior de la industria nuclear y la forma en que éstas influyeron en el rediseñamiento de las técnicas empleadas para atender el problema de los desechos, desde su generación hasta su depósito expondremos tres ejemplos. El caso de los desechos generados por las explosiones atómicas que condujo a la Aprobación del Tratado de Prohibición de Pruebas Nucleares Atmosféricas en 1963; el caso de los desechos mineros que llevó a una nueva reglamentación de su manejo en 1967 y el caso del incendio ocurrido en Rocky Flats, Colorado en 1969 y que culminó en una importante reforma de la manera en que se manejaban los desechos.

¹⁵ Registro de Depósitos Terrestres de Basura Radioactiva (trad. nuestra), citado en Hess, (1960).

4. 3.- EL impacto de los desechos generados por explosiones nucleares.

4.3.1 Características generales de las pruebas nucleares

Durante el periodo 1953-1970 Estados Unidos realizó 572 pruebas nucleares. Éstas contaminaron gravemente el aire, los suelos y el agua de numerosos lugares del planeta y aumentaron los niveles de radiación global. Los desechos generados por las detonaciones fueron considerados como un secreto militar y un instrumento de espionaje. Por esta razón, se realizaron numerosos experimentos para dar seguimiento a la dispersión de contaminantes que permitieron a las autoridades nucleares tener conocimiento de sus nocivos efectos. Sin embargo, se tomaron muy pocas medidas para atenuar su impacto en el medio ambiente y la salud humana.

Las detonaciones se realizaron en una gran variedad de escenarios, en el agua, la superficie terrestre y el aire. Durante una primera etapa la mayoría de las pruebas se realizaron en el Océano Pacífico donde causaron graves daños a diversas islas y convirtieron a sus pobladores en auténticos conejillos de indias. A partir de 1952 la mayoría de ellas se realizaron en territorio estadounidense.

La inmensa mayoría (95%) tuvo objetivos militares¹⁶ mientras un reducido número tuvo objetivos científicos. El total de las explosiones significó una potencia

¹⁶ Las pruebas nucleares militares se desarrollaron para cubrir una gran variedad de objetivos: experimentar subsistemas, optimizar el diseño de las cabezas, poner en práctica ideas, sopesar la eficacia de instrumentos diseñados para la detección de explosiones, probar la resistencia de equipo, monitorear la dispersión de contaminantes, así como, probar efectos de la radiación en plantas, animales y humanos. Como puede apreciarse en algunos casos la dispersión de contaminantes formó parte de la experimentación y en otras fue un resultado accidental.

equivalente a 366 megatones.¹⁷ Su realización generó y esparció una gran variedad de sustancias radioactivas que contaminaron la atmósfera, el suelo, el agua y numerosos seres vivos.¹⁸

Los radioisótopos dispersados por las explosiones nucleares tienen vidas medias radioactivas muy variadas, que van de unos cuantos segundos a miles de años. Las detonaciones efectuadas en ese período contaminaron los campos de pruebas e incluso regiones muy distantes a ellos, con una gran variedad de radioisótopos y altas dosis de radiación. En términos generales se considera que las pruebas realizadas en ese período dispersaron entre otros los siguientes radioisótopos y las siguientes dosis de radiación: cesio 137 (27 megacuries), estroncio 90 (17 mc), tritio (4 500 mc), carbono 14 (5.8 mc), plutonio 239 (0.4 mc), kriptón 85 (3 mc), hierro-55 (50 mc), Yodo 131 (180 mc).

El alto costo humano y ambiental¹⁹ provocado por los desechos generados en explosiones nucleares ocasionó un creciente malestar en la sociedad norteamericana y en otros países del mundo. Este descontento se manifestó de diferentes formas y con el paso del tiempo obligó a las autoridades estadounidenses a modificar su política en relación a las pruebas nucleares. Sin embargo, para

¹⁷ (Bohning,)

¹⁸ El espectro de sustancias generado por las explosiones varía de acuerdo al tipo de bomba empleado. Las pruebas de fisión o de cargas de "primera generación", usaron U-235 o Pu-239. Las de fisión-fusión o de cargas de "segunda generación" emplearon deuterio (H-2), tritio (H-3) o litio-6.

¹⁹ Según el Dr. Pauling por cada 10 megatones detonados en la Tierra: nacerán 15 000 niños con serios problemas físicos o mentales. Sus cifras se refieren al conjunto de las explosiones realizadas por los diversos países poseedores de armas nucleares. Las explosiones ocasionaron numerosos estragos. Entre muchos otros problemas contaminaron numerosos campos de pruebas dispersos por el mundo abarcando una gran variedad de ecosistemas. Entre muchos otros sitios se encuentran los siguientes: Kalahari, Reggan, In Ekker y el Atlántico Sur, ubicados en África; Pokharan, Lop Nor y Semipalatinsk, instalados en Asia; Maralinga, Woomera, Bikini, Eniwetok, Murorora, Christmas y

comprender la inconformidad social sobre la forma en que el gobierno había manejado el asunto es necesario presentar un cuadro general respecto a los daños ocasionados por las explosiones realizadas en el Océano Pacífico, la presencia de tropas durante las pruebas efectuadas en Nevada, los perjuicios causados por las llamadas manchas calientes y los efectos globales de las pruebas nucleares.

4.3. 2 Las pruebas nucleares realizadas en el Pacífico

Las pruebas nucleares realizadas en el Pacífico tuvieron graves consecuencias en muchas islas, atolones, arrecifes y diversos tipos de ecosistemas submarinos. Un ejemplo de la magnitud de las detonaciones realizadas en el Pacífico y de sus perniciosos efectos lo ofrece la *Operación Castle*, la cual tuvo lugar en 1954 y consistió en una serie de detonaciones. Una de ellas denominada *Bravo* fue detonada en el atolón de Bikini a las 6:45 del 1 de marzo de ese mismo año.

La explosión contaminó gravemente un área de mas de 7 000 millas cuadradas. Sus efectos se hicieron sentir a trescientas millas del *punto cero*. El barco de pesca japonés, denominado fue alcanzado por la nube radioactiva, en cuestión de minutos su tripulación comenzó a sentir náuseas. Los efectos de la detonación fueron conocidos en todo el mundo, porque la nube radioactiva alcanzó al barco japonés *Lucky Dragón* que navegaba a 120 millas del Atolón de Bikini. Sus veintitrés tripulantes fueron expuestos a fuertes dosis de radiación. Siete meses

Johnson, construidos en Oceania, y Novaya Semiya, para terror de Europa y Amchitka, Hattiesburg,

después de la explosión uno de ellos murió y el resto se encontraba en el hospital bajo cuidados intensivos. Estudios posteriores revelaron que otros 683 barcos pesqueros civiles habían sido fuertemente contaminados. Asimismo se descubrió que alrededor de 457 toneladas de atún habían sido fuertemente irradiadas.

La lluvia radioactiva generada por esa prueba provocó un fenómeno extraordinario; la caída de nieve (altamente radioactiva) en la bella isla tropical llamada Rongelap. Entre sus pobladores los más afectados fueron los niños, quienes asombrados al ver nieve por primera vez en su vida, salieron a retozar en ella. La mayoría de sus habitantes sufrió de epilación (pérdida del cabello) y reproducción anormal de glóbulos blancos²⁰.

La explosión también contaminó las islas Rongerik y Uterik. A dos días de la estruendosa explosión los dosímetros instalados por la Marina estadounidense en puestos de observación ubicados a miles de millas de distancia del *punto cero*, seguían disparándose, por lo que se decidió desalojar a los habitantes de dichas islas.

Algunas semanas después el laboratorio Brokhaven, de Nueva York, estudió a 239 habitantes de las islas Marshall que habían sido expuestos a elevadas dosis de radiación como consecuencia de la explosión *Bravo*. Muchos de ellos sufrieron cáncer y muchos perdieron la vida.

La Marina de los Estados Unidos justificó los daños provocados por la detonación argumentando que se trataba de un accidente provocado por un cambio

Fallon y Hot Creek Valey, enclavados en América (Denis 1984).

²⁰ International Commission to Investigate the Health and Environmental Effects of Nuclear Weapons Production/ Institute for Energy and Environmental Research (1991).

inesperado de los vientos. Sin embargo, de acuerdo con la interpretación del Doctor Merrill Eisenbud, Director del Laboratorio de Salud y Seguridad de la CEA, quien participó en la operación como parte de la Fuerza de Tarea, existen numerosas interrogantes al respecto:

"Es extraño que no se haya conducido una investigación formal (sobre la lluvia radioactiva). Hay reportes de que el artefacto fue detonado a pesar de que existían informes sobre las condiciones meteorológicas adversas. No hay explicación de porque teniendo capacidad de evacuación esta no se realizó cuando a las siete horas de la detonación las Fuerzas de Tarea habían detectado el problema. Tampoco hay explicación sobre el largo intervalo de varios días entre el momento en que supo del problema y la emisión de advertencias públicas." ²¹

La explosión Bravo es solo un ejemplo de muchos otros que podrían mencionarse sobre las 106 explosiones realizadas por Estados Unidos en el Océano Pacífico. Los grados de contaminación fueron tan altos que impusieron un exilio forzoso a los habitantes de numerosas islas en el Pacífico.

En 1969, el "Programa Salvaguarda C" del Departamento de Defensa y la CEA evaluó la posibilidad de rehabilitar algunas de las islas y permitir el retorno de

²¹ Eisenbud, (1989), Carta a Henry Khon, citada en (International Commission to Investigate the Health and Environmental Effects of Nuclear Weapons Production/ Institute for Energy and Environmental Research 1991, p. 78)

sus pobladores. El documento estableció que la limpieza del atolón de Bikini no debería interferir con los programas de militares de defensa, por lo cual, la contaminación de la isla, debería considerarse como "una excelente oportunidad para desarrollar equipos y capacidades, así como, para medir el impacto de la radiación".²² Bajo estos criterios, la isla se convirtió en un gigantesco laboratorio en el que sus pobladores hicieron las veces de conejillos de indias.

Otro caso que puede citarse es el de la isla Marshall. La contaminación suscitada por los desechos radioactivos en ese lugar obligó a desalojar a todos sus habitantes en 1946. A partir de entonces los marshalleses vivieron en el exilio. Treinta años después, el gobierno estadounidense evaluó si existían las condiciones necesarias para que sus habitantes regresaran a la isla²³. Al analizar el caso se descubrió que los alimentos de la isla estaban altamente contaminados, sin embargo se consideró que éstos no representarían un peligro para la población, siempre y cuando se colocaran anuncios advirtiendo sobre la peligrosidad de consumirlos y si además se ponía en marcha un programa de importación de alimentos. Por su parte el doctor Konrad Kotrady, físico investigador de la CEA interpretó el asunto diciendo que los habitantes de las Islas Marshall habían sido usados como "cochinitos de Guinea".

En enero de 1956 al ser consultado sobre la posibilidad de que los habitantes de Ronguelap regresaran a isla, el Comité Asesor de Biología y Medicina (CABM) de la CEA declaró que considerando que la isla es por mucho: "el lugar más

²² Aún cuando no está claro si esto incluía la experimentación con los habitantes de la isla, por lo menos, si implicaba limitar los esfuerzos de decontaminación.

²³ (International Commission to Investigate the Health and Environmental Effects of Nuclear Weapons Production/ Institute for Energy and Environmental Research, 1991)

contaminado de la Tierra ... y considerando que ahí no vive gente, quiero decir gente occidental, es igualmente verdadero que ellos pueden usarse más o menos como micos" ²⁴

Según Emberson-Bain (1992), factores como la presencia de desechos en las islas de la zona, los niveles de contaminación y la existencia de numerosos basureros ha provocado daños físicos irreparables y complejos en los ecosistemas de la región y ha ocasionado una ruptura en la dinámica tradicional de la comunidades. La conversión de las islas del Pacífico en campos de pruebas y *depósitos naturales* de desechos impuso por una vía violenta, un modelo económico que genera una enorme dependencia.

La actitud discriminatoria de las autoridades estadounidenses respecto al manejo de los desechos radioactivos en el Océano Pacífico queda al desnudo al analizar los estándares de seguridad radiológica aplicados en las islas donde habitan los marinos norteamericanos. Verbigracia, en la isla Johnston, poblada mayoritariamente por tropas y científicos al servicio del ejército estadounidense los niveles autorizados de radiación son varios rems menores a los empleados en otras islas y limpieza es mucho más escrupulosa que en el resto de la región.

En conclusión, los desechos generados por detonaciones realizadas en el Océano Pacífico fueron manejados de tal manera que: ocasionaron graves daños en los ecosistemas, utilizaron a la población local para experimentos médicos,

²⁴ (U. S. AEC, 1956, p. 231-231 citado en (International Commission to Investigate the Health and Environmental Effects of Nuclear Weapons Production/ Institute for Energy and Environmental Research 1991, p. 83)

convirtieron islas enteras en gigantescos laboratorios y generaron un modelo de desarrollo social que provocó una enorme dependencia.

4.3. 3 Las pruebas nucleares realizadas en territorio estadounidense

A partir de 1952 (como hemos mencionado en el capítulo anterior) la mayoría de las pruebas nucleares se realizaron en territorio estadounidense, en el campo de pruebas de Nevada. Ahí también se cocieron habas.

Para ilustrar el tipo de explosiones de las que estamos hablando puede citarse el caso de la explosión "Simón" cuya nube radioactiva registró una lectura de 300 Roentgen por hora. Se desplazó hacia Utah donde provocó la muerte de varias reses y posteriormente se trasladó a Nueva York donde contaminó varios establos lecheros.²⁵

En 1952 los ensayos comenzaron a realizarse con la presencia de tropas en puntos cercanos al *punto cero*. Este tipo de pruebas pretendían probar aspectos como: las reacciones de los soldados ante una explosión nuclear, los daños que les provocaría la radiación, sus respuestas psicológicas. Asimismo pretendían entrenar a las tropas en el comportamiento que deberían mantener durante una guerra nuclear.

Algunas de éstas pruebas se realizaron entre abril de 1952 y la primavera de 1953 como parte la serie *Buster-Jangle*. En una de las detonaciones cinco mil soldados estadounidenses fueron colocados muy cerca del *punto cero*.

²⁵ Ibid.

Otro caso que puede citarse fue la prueba *Priscila* realizada el 24 de junio de 1957. Momentos antes de la explosión los soldados le externaron a su comandante que sentían una gran inquietud debido a que serían ubicados a solo 2 500 yardas del *punto cero*. El comandante les respondió:

"Realmente no hay necesidad de preocuparse, la armada ha tomado las precauciones necesarias para que ustedes estén perfectamente a salvo aquí. Primero que nada, podrán ver una luz intensa y brillante seguida por el sacudimiento de una ola de calor. Luego podrán observar como una bola de fuego asciende hacia los cielos. Esta contendrá toda la riqueza de colores del arco iris y luego se elevará a la atmósfera e irá formando un hongo. Verán algo maravilloso."²⁶

No fue así. Muchos de los soldados que participaron en esa y otras maniobras similares sufrieron trastornos que fueron de los desmayos al cáncer y de la angustia temporal a la psicosis permanente.

Poco después se realizó la explosión *Simon* de 43 kt. Un soldado que participó en las maniobras relacionadas con ella llamado Reason "Fred" Warehime, dice lo siguiente: "Entonces vino el resplandor de la luz. Yo tenía mis manos puestas sobre mis ojos cerrados, podía ver mis huesos como en una radiografía. Luego vino el temblor."²⁷ Actualmente luce una enorme cicatriz de dos pies de largo

²⁶ (Gallagher, 1993).

²⁷ (Gallagher, 1993, p. 74) Según este mismo texto Reason Fred Warehime había formado parte de la brigada "clean-up" que ocupó Nagasaki pocos días después del estallido de *Fat Man*. Sobre su

en la espalda, obtenida cuando le extirparon tumores múltiples provocados por un cáncer que contrajo durante las maniobras.

El número de veteranos muertos por leucemia o policitemia aumenta entre aquellos que participaron en las pruebas de Nevada, según un estudio realizado por Glyn Caldwell en colaboración con el Centro para la Prevención y el Control de Enfermedades. Es de esperarse que conforme se realicen más estudios de ese tipo se conozcan nuevos datos sobre la incidencia de los desechos radioactivos en la salud de los veteranos atómicos.

Desafortunadamente no solo los soldados sufrieron los efectos de los desechos radioactivos generados por las bombas.

4.3.4 Sotaventos y manchas calientes.

Las explosiones nucleares atmosféricas contaminaron muchas poblaciones lejanas a los campos de pruebas, a través de sotaventos y deposiciones que forman las llamadas *manchas calientes*. Las manchas calientes son zonas contaminadas por la precipitación a tierra de las nubes radioactivas formadas por la detonación de artefactos nucleares.

La CEA estuvo conciente de que las pruebas nucleares provocarían diversos riesgos para la población estadounidense desde que seleccionó el campo de pruebas de Nevada. Uno de los peligros más importantes consistiría en que las

experiencia -"divertida al principio"- declaró: "nosotros no creíamos real eso de que había habido gente vaporizada, pero [después] tu podías ver la silueta de las sombras con figuras de perro o de persona [dibujada] en la pared..." Ibid. p. 73 Ocho años después Warhime fue asignado a las maniobras del campo Desert Rock.

nubes radioactivas con altas dosis de radiación fueran empujadas por *sotaventos* hacia zonas habitadas. Por esta razón, estableció un Permiso de Dosis Máxima de Radiación de 3.9 rads al año, como la máxima dosis de radiación que podría recibir una comunidad.²⁸

Sin embargo, el criterio utilizado para establecer esta dosis fue muy endeble, pues el único dato que se tomó en cuenta para fijarlo fue la aparición de síntomas de síntomas inmediatos en las poblaciones afectadas por sobredosis. Debido a que muchos de los daños ocasionados por la radiación pueden presentarse en el mediano y largo plazo (por ejemplo, en el caso de daños genéticos) la dosis de radiación admisible fue mucho mayor a la establecida años después cuando se tomaron en cuenta períodos mayores. Lo peor del caso es que en muchas ocasiones los *sotaventos* expusieron a la población dosis mayores a las autorizadas.

Un caso muy ilustrativo es el de la explosión *Shoot Harry* ocurrida en mayo de 1953, y conocida por los estudiosos del tema como *Harry el Sucio*. Dicha detonación rebasó los límites establecidos por el Permiso de Dosis Máxima. Esta situación ocurrió en muchas otras ocasiones, pero en este caso se filtró a la radio y fue transmitida al público, lo cual provocó gran alarma entre la población. Sin embargo, la CEA respondió a las inquietudes del público iniciando una enérgica campaña de educación y relaciones públicas, para convencer a la población de que

²⁸ (International Commission to Investigate the Health and Environmental Effects of Nuclear Weapons Production/ Institute for Energy and Environmental Research 1991.)

mientras no se presentaran algunos síntomas médicos en las comunidades irradiadas, no había peligro alguno.

A pesar de ello, en 1961, el Doctor Bruner, del Consejo de Asesoría en Biología y Medicina (CABM) de la CEA, descubrió que había aumentado el índice de leucemia en varias comunidades al suroeste de UTAH. El incremento de los casos podía ser atribuido a las explosiones en Nevada.

Muchos años después pero todavía como parte de la polémica epidemiológica sobre la incidencia de los vientos radioactivos provocados por *Harry el Sucio*, el doctor Walter Stevens realizó un estudio en los huesos de 1 777 cadáveres de personas que habían fallecido a consecuencia de la leucemia y que pertenecían a las comunidades antes citadas. El estudio reveló un riesgo relativo de Leucemia de 1.2 respecto al total de personas, el cual no era muy alto. Sin embargo, cuando revisó los resultados, descubrió que si los mismos datos se procesaban por grupos de edad, en el grupo de los menores de 19 años la cifra se disparaba hasta 7.82 lo cual significaba que las comunidades si habían sido gravemente afectadas.²⁹

Otro ejemplo es el de la serie *Upshot-Knothole* realizada en 1953, los cálculos oficiales estimaron en los siguientes rads las dosis de rayos gama que recibieron varias comunidades: Rockville 2.1, Springdale 0.78 y Santa Clara 0.7. Sin embargo es poco probable que esas hayan sido las dosis realmente recibidas debido a que los equipos de dosimetría no medían la radiación interna. El hecho parece confirmado, porque al año siguiente, un grupo de pastores se quejó ante los

²⁹ Ibid.

tribunales por las quemaduras que sufrieron sus ovejas durante una serie de pruebas realizadas posteriormente pero con megatonajes y condiciones similares. Trás estudiar cuidadosamente el caso el Juez A. Sherman Christensen consideró que según la evidencia presentada por los demandantes: "los datos oficiales de la CEA fueron intencionalmente falseados o tomados incorrectamente".³⁰

Según un estudio realizado por Anspaugh (1990) como parte de una reconstrucción de los vientos radioactivos que fue encargado por Departamento de Energía, por lo menos 86 mil personas estuvieron expuestas a vientos radioactivos externos entre 1963 y 1975. De hecho la legislación actual reconoce e incluso ha establecido la obligación de indemnizar a algunas de las personas de UTAH, Nevada y Arizona que fueron afectadas por los vientos radioactivos. Sin embargo, esa legislación no ha reconocido que esos vientos contaminaron alimentos en la zona y por lo tanto seguramente el número de personas afectadas es mucho mayor si se incluye la variable daños por ingestión de *alimentos activados*.

Otra de las formas en que los desechos generados por las explosiones nucleares afectaron a la población fue a través de las llamadas *manchas calientes*. Estas se forman cuando por alguna razón (por ejemplo la lluvia o una nevada) durante el viaje de miles de kilómetros realizado por una nube radioactiva ésta se precipita a tierra. Uno de estos casos sobre los que existe documentación - la mayoría o son secretas o no fueron adecuadamente evaluados - es el caso de Albany, Nueva York.

³⁰ (Fradkin, (1989) p. 163-164 citado en (International Commission to Investigate the Health and Environmental Effects of Nuclear Weapons Production/ Institute for Energy and Environmental Research 1991, p. 59) [trad. nuestra].

El 26 de abril de 1953 durante las horas siguientes a una detonación efectuada en Nevada, una tormenta eléctrica precipitó a tierra una inmensa nube radioactiva. Poco después los dosímetros (gummed film) ubicados en Nueva York a unas 150 millas de con respecto a Albany indicaron lecturas de 450 000 curies por kilómetro cuadrado. Considerando que los monitores estaban a una enorme distancia de Albany la radiación debe haber sido por lo menos tres veces mayor en esa población. También fueron afectadas otras ciudades, algunas de ellas con dosis aún mayores. Tal fue el caso de Ely, Nevada; Casper, Wyoming; Grand Junction, Colorado; Farmington, Nuevo México; y Winslow, Arizona.

En otros casos los daños provocados por *manchas calientes* fueron tan graves que *activaron* alimentos como la leche. Este situación se presentó en: Minot-Mandan, Dakota del Norte; Salt Lake City, Utah; y Albany, Nueva York, entre muchas otras. Asimismo, diversas comunidades de Utah y Nuevo México mostraron contaminación de leche con yodo 131. Esta sustancia aumentó considerablemente el riesgo de sufrir daños en la tiroides, sobre todo entre los niños que tomaron leche de vacas directamente irradiadas o que habían sido alimentadas con pastura contaminada.

Según el estudio epidemiológico realizado por el Lyon ³¹ las muertes de niños provocadas por leucemia se incrementaron en el período que de 1951 a 1962 respecto a otros períodos, en aquellas comunidades afectadas por *manchas*

³¹ (Lyon, et. al. 1979;1980 citado (Makhijani, 1995, p. 280)

calientes. En el mismo sentido Machado (1987)³², estudió la mortalidad provocada por leucemia en diferentes grupos de mormones y descubrió que el número de decesos es más alto entre quienes vivían en zonas donde hubo lluvia radioactiva.

Las pruebas atmosféricas también provocaron efectos globales. Según el reconocido experto Jozeph Goldblat, los niveles de radiación en la atmósfera aumentaron ocho veces entre 1945 y 1963. Otra de las sustancias de las cuales se detectó un incremento a nivel global en la atmósfera fue el estroncio 90. Ese elemento se aloja en los huesos y produce leucemia y cáncer en la sangre. Los niños son particularmente vulnerables a él. Por tanto, aún cuando los apologistas de la industria nuclear afirman que el hombre siempre ha convivido con la radiación, el hecho es que en nuestros días una buena parte de la dosis existente en el ambiente tiene un origen artificial.

³² (Machado, Land and McKay 1987, citado en (Makhijani, 1995, p. 281) De la misma manera Kerber y otros investigadores hicieron un estudio histórico sobre los niños que vivían en los condados de Washington, UTAH y Lincon, Nevada. Mediante entrevistas sobre sus dietas y encontraron que el número de niños con padecimientos en la tiroides aumentó notablemente entre quienes habían comido alimentos susceptibles a sufrir contaminación durante los años en que se realizaron pruebas atmosféricas.

4.3.5 El Tratado de Prohibición de Pruebas.

Al inicio de la década de los sesentas diversos factores confluyeron para generar la necesidad de reducir y controlar los efectos de los desechos originados por explosiones nucleares. En primer lugar el desarrollo de la pruebas permitió sustituir la funciones de las pruebas atmosféricas por pruebas subterráneas. En segundo lugar, las relaciones con la URSS ofrecieron una oportunidad de estabilizar la carrera de armamentos. En tercer lugar y de manera muy importante, las protestas de veteranos nucleares, comunidades afectadas, científicos externos a la comunidad nuclear y movimientos ambientalista y antinucleares adquirieron mayor fuerza.

El debate sobre el carácter perjudicial o inocuo de las pruebas atmosféricas se desarrolló en diversos niveles y adquirió un nivel relevante a partir de 1954. Ese año A. H. Sturtevant quien era Presidente del Asociación Americana de Científicos Avanzados expresó que la lluvia radiactiva representaba un importante peligro genético para los individuos y sus descendientes. Su afirmación contradijo los informes que Lewis Strauus Director de la CEA había presentado al Presidente Eisenhower³³. En 1955 durante los preparativos para la Conferencia Sobre Usos Pacíficos de la Energía Atómica la CEA rechazó la ponencia *How the radiation Changes the Genetic Constitution* había sido elaborada por el Premio Nobel Hermann Muller³⁴. Por su parte John Burger Director de la División de Biología y Medicina de la CEA sostuvo que las dosis de radiación provocadas por la lluvia

³³ (Kopp, 1969, p. 407)

radioactiva eran completamente inofensivas³⁵. El debate que comenzó entre científicos se extendió al conjunto de la sociedad y polarizó a la sociedad estadounidense. Entre marzo de 1955 y noviembre de 1961 se triplicó el número de personas informadas sobre el tema de la lluvia radioactiva pasando de un 17 a un 56% del total de la población.³⁶ Para esa fecha Rosi (1965) estimó que entre 35 y 38 millones de personas consideraban que la lluvia radioactiva tenía efectos negativos en la salud.

En ese contexto en 1958, ocurrió algo que hubiera parecido imposible en el período anterior, después de una breve moratoria unilateral soviética, Estados Unidos, la URSS y Gran Bretaña iniciaron una moratoria de pruebas.

El 13 de febrero de 1960 el silencio de los campos de pruebas fue roto cuando Francia realizó su primera prueba nuclear en el desierto de Reggan en Argelia. Posteriormente, en 1961, Estados Unidos reconoció planes de bombardear a la URSS, lo que llevó a esta última a romper estruendosamente la moratoria mediante la realización de 13 detonaciones atmosféricas en Siberia. En 1962, Estados Unidos probó sus sistemas de misiles lanzados desde submarinos en las islas Christmas y Johnson. La moratoria estaba rota a pesar de que múltiples movimientos sociales exigían en todo el mundo que se prohibieran las pruebas atmosféricas.

³⁴ Ibid p. 411

³⁵ Para un recuento minucioso del debate sobre la lluvia radioactiva ver Kopp (1979). En dicho texto el autor sostiene que a nivel de los científicos la polémica surgió fundamentalmente por las diferentes percepciones entre físicos y genetistas, académicos y funcionarios de la CEA así como entre liberales y conservadores.

³⁶ (Rosi, 1965, p. 286).

Para agosto de 1963 el 61% de los estadounidenses mayores de edad, estaban a favor de la moratoria y un 18% en contra.³⁷ Afortunadamente, en 1963 vino ¡ por fin ! la suspensión de pruebas en la atmósfera, el espacio exterior y bajo el agua, acordada por EU, la URSS y Gran Bretaña.

La prohibición significó cancelar una de las fuentes más importantes de generación de desechos. Además redujo la tasa de sustancias radioactivas inyectadas a la atmósfera, redujo importantes riesgos para cientos de comunidades y evitó un importante peligro para los soldados que participaban en ellas.

4.3.6 Pruebas nucleares subterráneas.

Sin embargo el tratado permitió la realización de pruebas nucleares subterráneas, las cuales han continuado efectuándose prácticamente hasta la fecha y han infligido graves daños al medio ambiente además de que han permitido el desarrollo de nuevos modelos de armas nucleares.

Las pruebas subterráneas y éstas también provocan importantes daños y dispersan grandes cantidades de productos radioactivos en la atmósfera. Aún cuando ésta situación se ha presentado la mayoría de las veces por accidente. Según la Oficina de Asesoría Tecnológica del Congreso de los Estados Unidos, por lo menos 25.3 millones de curies provenientes de productos radioactivos fueron vertidos a la atmósfera entre 1957 y 1970 por este tipo de explosiones. Por citar un

³⁷ (Rosi, 1965, p. 285).

ejemplo solamente una de esas pruebas, *Baneberry*, detonada en 1970 arrojó alrededor 6.7 millones de curies de radioactividad a la atmósfera terrestre.

Asimismo la detonación de 37 megatones en pruebas subterráneas ha depositado importantes cantidades de radionucleidos en el suelo. Sustancias como: el antimonio-125, radio 106, el cesio-141, el iridio 192, entre muchas otras, han sido encontradas en las colecciones de suelos tomadas del Campo de pruebas de Nevada recopiladas por Oficina de Asesoría Tecnológica.

El ambiente subterráneo ha sido gravemente dañado por las pruebas subterráneas. Un buen ejemplo de ello lo constituyen los daños al subsuelo provocados por las pruebas *Lon-Shot*, *Milrow* y *Spartan* realizadas en Amchitka, Alaska.³⁸

Por otra parte, en contraste con las severas regulaciones impuestas por la Comisión Reguladora Nuclear para el manejo de desechos radioactivos no existe una ley ni un reglamento que obligue a manejar las sustancias depositadas en el subsuelo por las explosiones nucleares subterráneas. Por lo tanto a diferencia de las sustancias generadas en otras fases del ciclo nuclear las sustancias generadas por explosiones no son encapsuladas, no se supervisarán durante plazos de entre 300 y 1000 años, ni estarán sujetas a ninguna medida para evitar que se trasladen espontáneamente a otras regiones del subsuelo.³⁹

La realización de explosiones nucleares atmosféricas y subterráneas ha provocado importantes daños a diverso grupos étnicos y minorías en Estados

³⁸ (International Commission to Investigate the Health and Environmental Effects of Nuclear Weapons Production/ Institute for Energy and Environmental Research, 1991.

³⁹ En lo que respecta a diversos y ambiciosos programas de explosiones nucleares pacíficas ver anexo 5

Unidos así como a terceros países. Al respecto resulta particularmente el caso de México, sobre el cual como hemos mencionado antes existen pruebas (ver cap. 1) de que ha sido afectado por este tipo de pruebas aunque no existen los datos suficientes para valorarlos.

4. 4.- El caso de los desechos mineros.

4.4.1 Características generales de los desechos mineros.

Durante el periodo 1953-1970, la extracción de uranio generó una gran cantidad de desechos en estado sólido, líquido y gaseoso. Las minas y molinos generaron grandes volúmenes de polvo y gas radón. Los desechos líquidos se vertieron directamente en los ríos. Los desechos sólidos se utilizaron en la construcción de carreteras y edificios públicos.

Los desechos generados en las diversas minas y los 39 molinos de uranio existentes en los Estados Unidos provocaron numerosos problemas: emitieron la mayor cantidad de radiación artificial de todas las fases del ciclo industrial nuclear (alrededor del 85%)⁴⁰, constituyeron el 99% del volumen de los desechos radioactivos.⁴¹ Estos últimos a pesar de ser medianamente radioactivos poseían largas vidas medias⁴² y provocaron el mayor impacto ambiental.⁴³ Los desechos

⁴⁰ Según Bernard Cohen , físico de la Universidad de Pittsburg quien es citado en (Blowers, 1991).

(Lee 1992).

⁴² (Lee, 1984).

⁴³ Según la agencia de protección Ambiental, en un documento citado por (Lee, 1992)

acumulados en las minas a cielo abierto emitieron peligrosos aerosoles".⁴⁴ Los molinos generaron un total de 17 millones de toneladas anuales de desechos durante el período que nos ocupa.

Por otra parte, hasta 1959 prácticamente todas las minas y molinos vertieron los lodos radioactivos de bajo nivel (generados durante la separación de la ganga y el metal de uranio) directamente en los ríos, lo cual afectó gravemente a las comunidades vecinas. Las numerosas quejas de las comunidades locales por el deterioro de los ríos, obligaron a la CEA a establecer un nuevo reglamento para su manejo, en el cual se obligó, a las minas y molinos a depositar sus desechos líquidos en tanques construidos *ex profeso*.⁴⁵

La generación de desechos durante la extracción y molienda del mineral de uranio también afectó a los mineros. Un estudio sobre la salud de los mineros realizado en 1957 reveló que la falta de ventilación adecuada en las minas subterráneas "expuso a los mineros a respirar el gas radón que se acumula en ellas. Esta situación provocó un aumento en la incidencia de cáncer pulmonar entre los mineros" provocándoles continuos padecimientos. Los daños fueron verdaderamente alarmantes. Entre 1945 y 1971 6 mil mineros fueron expuestos a respirar polvo y gas radioactivo. De éstos -según otro estudio realizado en la época- aproximadamente mil de ellos morirán por cáncer.⁴⁶ Por otra parte, la mayoría de

⁴⁴ Esta situación afectó a las comunidades aledañas que frecuentemente eran tribus indias, debido a que 24 de las 35 principales minas se ubicaban sobre o cerca de las reservas de indios navajos, hopis y spokane (WISE, 1998).

⁴⁵ Después de ese año se vertieron grandes cantidades de desechos pero fundamentalmente por accidentes como los ocurridos en Utah en 1963, Utah 1962 y Maybell, Colorado en 1961, (US EPA, 1983, pp 590-604).

⁴⁶ Las primeras investigaciones sobre la salud de los mineros del uranio datan del siglo XIX. En 1879 se descubrió que el llamado mal de montaña era en realidad un cáncer pulmonar provocado

estas instalaciones se construyeron sobre o cerca de propiedades que pertenecían a indios norteamericanos o a chicanos, los cuales se vieron afectados por la contaminación.⁴⁷

4.4.2. El peligro provocado por los desechos de Grand Junction.

Otra práctica común en el manejo de los desechos mineros consistió en emplearlos para construir carreteras, edificios públicos, casas habitación y escuelas. En 1966, el Departamento de Salud de Colorado descubrió que alrededor de 3 300 edificios públicos, escuelas y casas habitación emitían importantes dosis de rayos gama y gas radón. Conforme se ahondó en la investigación se descubrió que este tipo de edificios habían sido construidos con desechos mineros procedentes principalmente de las minas de Grand Junction, Colorado.⁴⁸ Conforme se avanzó en la investigación el número de edificios con estas características se elevó a 5 mil⁴⁹ involucrando a un total de 26 millones de personas, que estuvieron expuestas a niveles de radiación mucho mayores a los permitidos en esa época. Este tipo de construcciones se encontraban también en Nueva York, Pennsylvania y Nueva Inglaterra. Para dar una idea de la magnitud del problema debe decirse que el total de los desechos mineros empleados en la industria de la construcción, entre 1951 y

por la inhalación de gas radón, desde aquel entonces se estableció que la solución sería ventilar correctamente las minas. En la industria estadounidense las investigaciones sobre la salud de los mineros del uranio comenzaron en Colorado desde 1949 (Madel, 1997, p. 833-858)

⁴⁷ Por ejemplo a los grupos de afroamericanos y chicanos se les negaron indemnizaciones aduciendo que el cáncer era por fumar. A pesar de que ambos grupos mostraron menor tendencia a fumar, (Madel, 1997, p. 833-858).

⁴⁸ (Lamperti, 1984. p. 379)

1970 alcanzó la cifra de 3.1 millones de metros cúbicos.⁵⁰ Además los desechos líquidos provenientes de Grand Junction contaminaron 2.3 millones de litros de agua con sustancias como magnesio, uranio, vanadio, arsénico, cobalto, fluor y radio 226.

4.4.3 Modificaciones en el manejo de desechos mineros.

Conforme se fue descubriendo la magnitud de los problemas generados por las actividades en Grand Junction creció el interés de la opinión pública y aumentó el descontento. La inconformidad auspició la realización de grandes movilizaciones contra las actividades mineras que obligaron a la CEA a reformular su política respecto a los desechos. Algunos meses después del descubrimiento efectuado por el Departamento de Salud de Colorado la CEA se vio obligada a modificar drásticamente la forma en que manejaba los desechos mineros: prohibió las visitas del público a las minas; estableció reglas para obligar a las empresas a equipar mejor a los mineros; prohibió el uso de desechos en la construcción de edificios públicos y casas habitación; y estableció un amplio Programa de Remedio de los Lugares Afectados por Grand Junction⁵¹.

⁴⁹ (US DOE, Commission of Hazardous Materials & Waste Management Division, 1998).

⁵⁰ (DOE/Office of Environmental Management, 1996)

⁵¹ (Goslin, 1994)

4. 5. El caso de Rocky Flats, Colorado.

4.5.1 La fabricación de esferas de plutonio.

Las instalaciones de Rocky Flats se fundaron en 1951 y desde entonces se dedicaron a la producción de esferas de plutonio, el ensamblado final de armas nucleares y la recuperación de sustancias útiles (como el americio 241) en el plutonio quemado como combustible. Asimismo fabricó y ensambló uranio, berilio y acero inoxidable para componentes de armas nucleares. La empresa Dow Chemical administró la planta desde su fundación hasta 1975.

Sus actividades generaron una gran cantidad de desechos transuránicos. La fabricación de esferas de plutonio y sobre todo el reprocesamiento de las esferas de plutonio removidas de las cargas nucleares más antiguas, generaron una gran cantidad de americio 241, el cual se encuentra presente en las viejas esferas por la decadencia radioactiva del plutonio 241.

El complejo de Rocky Flats ha dispersado grandes cantidades de desechos, porque además de sus descargas rutinarias ha sufrido dos graves accidentes. El primer incendio ocurrió en 1957. En aquel entonces el Departamento de Salud de Colorado contrató a la empresa ChemRisk para determinar la cantidad de plutonio que el siniestro había dispersado en el ambiente.⁵² El estudio realizado por la

⁵² El método más común para estimar el volumen de los desechos dispersados durante un incendio consiste en averiguar la cantidad de materiales existentes en el lugar donde se produce el siniestro y las causas que provocaron el fuego. Posteriormente se analizan las condiciones atmosféricas y las posibles rutas y velocidad de dispersión de los contaminantes. Inmediatamente después se toman muestras de aire, suelos, agua, vegetación y organismos vivos y finalmente se construye un modelo matemático para estimar los datos. Sin embargo en el caso del incendio ocurrido en 1957 existen importantes lagunas, fundamentalmente porque el sistema de monitoreo del aire dejó de

empresa que estimó que la cantidad de plutonio que había esparcido el accidente oscilaba entre 0.03 y 38 gramos, sin embargo, según investigaciones posteriores, el estudio tuvo un margen de error tan grande que no resulta confiable.

4.5.2 El segundo incendio de Rocky Flats.

El segundo incendio ocurrió el 11 de mayo de 1969. A las 2:27 de la tarde la alarma de fuego indicó que había un incendio en la línea de montaje de las esferas de plutonio, ubicada en el edificio 776. Un pedazo de 1.5 kilogramos de una aleación que contenía plutonio comenzó a arder espontáneamente. El fuego fue controlado hasta las 6:40 de la tarde y totalmente apagado a la 8 de la noche. Esa fue la primera ocasión que los bomberos emplearon agua para apagar un incendio nuclear. Durante el combate al fuego un bombero resultó lesionado, varios cientos de kilos de plutonio resultaron dañados o quemados y se ocasionaron daños por mas de 25 millones de pesos⁵³.

El fuego dispersó una gran cantidad de desechos radioactivos en los suelos del lugar, dejándolos tan altamente contaminados que prácticamente se les podría considerar como basura transuránica. Sin embargo, la CEA presentó un informe bastante optimista sobre el asunto. Según la primera versión oficial, durante el

funcionar por la falta de energía eléctrica y porque las muestras de suelos y vegetación no fueron bien tomadas (CDPHE, 1993).

⁵³ (Konczal, 1998)

incendio el viento sopló hacia el sureste. La Comisión de Energía Atómica tomó 30 muestras de vegetación en esa dirección y descubrió restos de plutonio.⁵⁴

4.5.3 La reacción de la sociedad.

El incendio llamó la atención de la opinión pública porque puso al descubierto que la principal planta procesadora de plutonio se encontraba a solo 26 kilómetros de la ciudad de Denver y a solo 6.5 de Boulder y Golden.⁵⁵ En 1970 un grupo de científicos independientes tomaron muestras de suelos y flora en los alrededores de la planta y descubrieron que había restos de plutonio en mucho más lugares y en mayores cantidades a las reportadas en el informe oficial. Este descubrimiento atizó el conflicto entre el hermetismo de la CEA y la creciente demanda de información en el exterior de la comunidad nuclear.

Ante esta situación, científicos y grupos ambientalistas locales demandaron mayor información. La CEA se vio obligada a reconocer que contaminación por plutonio fuera de la planta.⁵⁶ Poco tiempo después el periódico New York Times publicó una nota diciendo que en Idaho existían 330 000 pies cúbicos de plutonio enterrado. La reacción de la opinión pública fue inmediata. El senador Frank Church solicitó al Buró de Pesca y Vida Silvestre, el Servicio Geológico al Servicio de Salud Pública y la Administración Federal de la Calidad del Agua un informe al respecto.

⁵⁴ Sin embargo investigaciones posteriores han formulado la hipótesis de que el plutonio encontrado en los alrededores fue dispersado durante una fuga ocurrida el año anterior.

⁵⁵ De hecho según investigaciones posteriores alrededor de 9 mil personas vivían a cinco millas de la planta y otras 3 10 mil personas a 10 millas del lugar.

⁵⁶ (Goslin, 1994).

La polémica sobre los efectos ambientales del siniestro persiste hasta la fecha sin que se haya llegado a un acuerdo en la comunidad científica sobre sus consecuencias.⁵⁷ A pesar de ello, la presión pública impulsó la realización de investigaciones independientes a la CEA.

Gracias a ellas se sabe que el accidente dispersó grandes cantidades de aerosoles de plutonio. Por otra parte, la compañía Dow Chemical descubrió además que a pesar de los retardantes utilizados para aminorar la corrosión provocada por las sustancias radioactivas muchos tambos con basura peligrosa habían sido corroídos.⁵⁸ Adicionalmente se descubrió que en el área metropolitana de Denver existían importantes dosis de agua contaminada. Nada más por estos daños el incendio provocó gastos de limpieza por cincuenta millones de dólares.⁵⁹

Una investigación realizada en 1969 reveló que existían partículas de plutonio en los suelos de los alrededores de Denver. Pero estos residuos provenían de barriles de aceite contaminados con esas sustancias y almacenados fuera de las instalaciones. Las muestras del estudio se tomaron con *instrumentos de campo para la medición de radiación de baja energía* (FIDLER p.s.i.) y fue conducida por el laboratorio Lawrence Livermore. El análisis de las muestras se realizó mediante diodos de espectrometría. El estudio reveló una contaminación más o menos uniforme de baja energía en un perímetro de 400 a 2 500 metros. Sin embargo

⁵⁷ Debido a esta incertidumbre en 1989 se inició un amplio programa coordinado por el Departamento de Salud Pública y Medio Ambiente de Colorado denominado Historical Public Exposures Studies on Rocky Flats. Pese a la amplitud del programa persisten numerosas dudas respecto a la gravedad de lo ocurrido en 1969 y sobre las emisiones rutinarias de la planta nuclear (Colorado Department of Public Health and Environment, Program of Historical Public Exposures Studies on Rocky Flats).

⁵⁸ (Makhijani, 1995, p.243)

debido a que las muestras de suelos fueron de solamente 5 cm de profundidad, no ofrecen cifras respecto al total de plutonio presente en la zona.⁶⁰

4.5.4 La modificación de las técnicas para el manejo de los desechos.

La consecuencia más importante del incendio fue que la inconformidad y la consternación de la sociedad obligaron a la CEA a abandonar el conformismo y los bajos parámetros de calidad con que había manejado los desechos hasta entonces. Por ejemplo, en 1968, un reporte de la General Accounting Office llamado "Informe sobre el mantenimiento de la basura radiactiva de alto nivel", elaborado a petición del Congreso, había considerado la necesidad de reorganizar la estructura encargada de atender la basura y la necesidad de incrementar presupuestos, pero en general era mucho más suave que el de la CI-ANC⁶¹. Pese a ello, dicho programa había sido aplazado por los altos costos que hubiera implicado. El 26 de julio de 1969 cuatrocientos trabajadores de Rocky Flats pertenecientes al Sindicato Unificado de Trabajadores de las Minas realizaron una marcha-plantón en las afueras de las instalaciones para exigir mejores condiciones de seguridad a la empresa Dow Chemical Company.⁶²

Afortunadamente la movilización social provocada por el miedo que despertó el incendio de Rocky Flats cambió las cosas. Para 1969, según la dirección de la

⁵⁹ (Goslin, 1994)

⁶⁰ (Krey, 1976)

⁶¹ (Goslin, 1994)

⁶² (Bloom, 1969)

CEA, el tema de los desechos era: "el problema mas importante de la industria nuclear medido en dólares, daño ambiental y riesgos a la salud".⁶³

Simultáneamente la CEA tuvo que aceptar una serie de recomendaciones provenientes de Administración Federal de la Calidad del Agua, algunas de ellas referidas particularmente al depósito de Idaho: No hacer depósitos de basura sobre mantos acuíferos, separar la basura TRU de la de bajo nivel, suspender la dispersión de Tritio y prohibir que se depositarán nuevos desechos en el subsuelo del lugar.

A partir de entonces la Comisión de Energía Atómica concluyó que Rocky Flats era inadecuado para guardar desechos. El Presidente de la CEA ofreció enviar los desechos a Lyon, Kansas a cambio de que se que permitieran nuevos depósitos subterráneos mientras se realizaba el traslado.⁶⁴ Además decidió trasladar la basura al Laboratorio Nacional de Idaho, de donde sería removida a su vez en 1980. Por esa época el gobierno estudiaba la posibilidad de construir un depósito de basura transuránica en Carlsbad, Nuevo México. Sin embargo, diversos factores entre los que se encuentra el hecho de que el sitio había utilizado previamente para minas (y por tanto tiene túneles y drenajes) arruinaron la viabilidad del proyecto.

Adicionalmente la CEA se vió obligada a tomar otras medidas. Los desechos de bajo nivel deberían ser cuidadosamente tratados, los tanques donde se habían depositado los desechos mineros desde diez años antes, serían cerrados al público, los de alto nivel serían depositados en sitios federales especiales para lo cual habría

⁶³ (Goslin, 1994)

⁶⁴ (Goslin, 1994).

que decidir entre depósitos en fondos marinos, en la profundidad terrestre o en el espacio exterior.

El incendio de Rocky Flats obligó a la CEA a rediseñar la tecnología utilizada para manejar los desechos radioactivos. Diversos problemas relacionados con la representación y la interpretación de los mismos, habían auspiciado numerosos problemas con un alto costo humano. Por citar un caso; de lo ocurrido con los inadecuados modelos de dispersión de contaminantes que tuvieron que ser mejorados debido a que habían provocado numerosos padecimientos a los isleños del Pacífico, a los "veteranos atómicos" y a los inocentes vecinos afectados por las "manchas calientes". Algo similar sucedió cuando las normas y procedimientos para tratar los desechos provenientes del ciclo industrial nuclear tuvieron que ser readaptadas por los graves riesgos que habían implicado para millones de familias que vivían en edificios construidos con los desechos de Grand Junction. El incendio remató ese proceso obligando a la institución encargada de la energía nuclear a formular nuevos procedimientos para el manejo de la basura atómica.

4. 6.- Conclusiones

Entre 1953-1970 la industria nuclear vivió la expansión más importante de su historia. La construcción de 25 058 cargas nucleares, 100 submarinos y la construcción de 300 reactores para la generación de energía eléctrica generó un amplio volumen de desechos.

La realización de 572 pruebas nucleares atmosféricas elevó el nivel global de radiación, contaminó gravemente los campos de pruebas, dispersó contaminantes a través de la lluvia radioactiva y afectó a muchas comunidades por los *sotaventos radioactivos* y las llamadas *manchas calientes*.

Los efectos de las pruebas nucleares fueron cuestionados por especialistas, comunidades afectadas, veteranos atómicos y movimientos pacifistas. Con el tiempo y conforme se fue conociendo la magnitud de los daños, la inconformidad se extendió a sectores más amplios y obligó al gobierno estadounidense a aceptar el Tratado de Prohibición de Pruebas Atmosféricas aprobado en 1963. Aunque las pruebas subterráneas también contaminan, la prohibición de las pruebas atmosféricas significó un importante cambio y limitó el ritmo y la intensidad de la contaminación.

Las protestas ocasionadas por el descubrimiento de que 23 millones de personas habían sido expuestas a graves riesgos en su salud por la utilización de desechos mineros como materiales de construcción de edificios públicos y casas habitación obligó a la Comisión de Energía Atómica a prohibir las visitas públicas a los centros mineros, prohibir que las empresas vertieran los desechos en los ríos y que se utilizaran desechos para construcciones públicas o privadas.

El incendio en Rocky Flats reveló el grado de contaminación provocado por las actividades nucleares y obligó a implantar una nueva política para el manejo de la basura nuclear.

Las técnicas utilizadas para manejar la basura en 1954 eran mucho más primitivas y descuidadas que las aplicadas en 1970. Es un hecho que la presión de distintos sectores sociales forzó a la CEA a rediseñar las técnicas empleadas para

manejar los desechos radioactivos. A pesar de ello, es necesario que investigaciones posteriores aborden a un nivel más fino cuestiones como: 1) el nivel de influencia de los distintos sectores sociales 2) la relación entre protestas y coyunturas específicas. Por ejemplo, en el caso de la prohibición de pruebas no queda completamente claro la influencia de las protestas y el cambio en la coyuntura diplomática.

CAPÍTULO 5

LA INFLUENCIA LA COMUNICACION EN EL REDISEÑAMIENTO DE UNA TECNOLOGÍA 1970-1980

5. 1. La influencia de la comunicación en el cambio técnico.

5.1.1 Procesos de comunicación y rediseñamiento de una tecnología.

Entre 1970 y 1979 las diversas instituciones nucleares (Comisión de Energía Atómica, Agencia de Investigación y Desarrollo de Energía y el Departamento de Energía que se sucedieron durante ese período) realizaron una serie de innovaciones en las técnicas para manejar, almacenar y depositar, los desechos nucleares. Por ejemplo, construyeron plantas para segregar la basura transuránica, emplearon nuevas formas de empaquetamiento, diseñaron diversos tipos de depósitos y desarrollaron técnicas para supervisar la contaminación ambiental. Cada una de estas innovaciones fue rediseñada en varias ocasiones. Por citar un caso los *depósitos finales* en formaciones geológicas naturales fueron sustituidos en una primera instancia por *almacenes* con capacidad de recuperar la basura y posteriormente por depósitos de *barreras múltiples*. En cada uno de los ejemplos mencionados *el rediseñamiento de estas innovaciones fue fuertemente influido por un proceso de comunicación desarrollado entre el interior y el exterior de la comunidad nuclear.*

El *rediseñamiento* de una técnica consiste en la realización de una o varias modificaciones a la versión original de un proceso, un instrumento o un producto tecnológico. En este trabajo utilizamos el concepto de *comunidad tecnológica* en el mismo sentido en que lo emplea Jean Jacques Salomon es decir como la red de actores que participan en la invención, diseño, desarrollo, fabricación y distribución

de un *elemento tecnológico*.¹ En este caso consideraremos a los funcionarios gubernamentales, las empresas, los científicos y los militares que participaron directamente en las actividades de la industria nuclear como los *sectores internos* y a las comunidades locales, asociaciones científicas, organizaciones ambientales y demás actores no involucrados directamente en actividades nucleares como los *sectores externos* a la comunidad nuclear.

El *proceso de comunicación* lo entenderemos como un intercambio intersubjetivo de información basado en la existencia de un emisor, un canal, un mensaje y un receptor. Un *ciclo de comunicación* lo entendemos como aquel proceso de comunicación en el que el receptor responde al mensaje del emisor original convirtiéndose en un segundo emisor o emisor reactivo, en cuyo caso, el ciclo termina cuando el emisor original se convierte en receptor.²

¹ Ver capítulo 1.

² La tendencia historiográfica a concebir el cambio técnico como resultado de un proceso social en el que intervienen una amplia red de actores, ha incrementado la necesidad de realizar estudios sobre la forma en que éstos se comunican entre sí. Según Lubar, (1995) cada uno de los componentes del proceso de comunicación (emisor, canal, mensaje y receptor) implican cierto poder, sin embargo apenas recientemente se ha comenzado a estudiar sistemáticamente algunos de estos elementos. Por ejemplo, aunque en la última década han proliferado los estudios sobre la recepción de las innovaciones científicas y tecnológicas este tipo de estudios es aún muy incipiente. Es muy importante profundizar en esta línea debido a que las diversas teorías de la percepción y la recepción han mostrado que la forma en que se percibe algo (una obra de arte, un artefacto tecnológico o un suceso político) es tan importante como otros momentos del proceso de comunicación (Eco, 1962). Por otra parte, la capacidad de los grupos sociales para establecer una buena comunicación con otros grupos y su capacidad para representar de una forma convincente sus innovaciones es una parte fundamental de la viabilidad social de una tecnología. Esto es así debido a que los grupos sociales (por ejemplo de un laboratorio o una empresa) necesitan imponerse frente a otras alternativas para lo cual necesitan persuadir a los distintos públicos de las bondades de su punto de vista a pesar de las objeciones de sus adversarios. (Lubar, 95).

5.1.2 Los ciclos de comunicación de la industria nuclear.

En cada uno de los ciclos de comunicación, las instituciones nucleares realizaron una serie de modificaciones o ajustes a las técnicas para manejar los desechos. Estas modificaciones pueden considerarse como un *mensaje* enviado a la sociedad. A su vez los distintos sectores de la sociedad funcionaron en una primera instancia como *receptores*, recibieron el mensaje, lo interpretaron y analizaron y posteriormente enviaron *su propio mensaje* a las instituciones nucleares. los *medios* a través de los cuales los sectores sociales transmitieron su mensaje fueron variados e incluyeron: protestas públicas, debates legislativos, quejas laborales, artículos periodísticos, etc. En el momento en el que las instituciones nucleares se convertían en *receptores* se cerró un ciclo de comunicación. Al iniciar un nuevo ciclo, las instituciones nucleares rediseñaban su tecnología para el manejo de los desechos y la realización de estas reformas se convertía en el nuevo mensaje que se enviaría a la sociedad.

Evidentemente la idea de los ciclos de comunicación es solo una forma de periodizar el fenómeno³ y una manera de hablar de los grandes ciclos que deben haber englobado muchos pequeños ciclos en entre distintos actores. Pero consideramos que es útil porque permite mostrar el intercambio de opiniones entre el interior y el exterior de la comunidad nuclear y su influencia en el rediseñamiento de la tecnología para manejar los desechos.

³ Aunque el proceso de comunicación es permanente e implica un continuo intercambio de mensajes, para fines de esta investigación podemos considerar que durante el período que nos ocupa se desarrollaron al menos cuatro ciclos del proceso de comunicación.

A lo largo de la década que nos ocupa se desarrollaron cuatro ciclos de comunicación, el primero comprendió de 1970 a 1973, el segundo de 1974 a 1976, el tercero de 1977 a 1979 y el último solo el segundo semestre de 1980.

5. 2. El primer ciclo de comunicación (1970-1973).

5.2.1 El 1º mensaje de la CEA.

En 1970 la Comisión de Energía Atómica (CEA) tenía bajo su responsabilidad todos los asuntos relacionados con los desechos nucleares. Sus funciones incluían: clasificarlos, empaquetarlos, transportarlos y depositarlos, así como controlar su dispersión en el medio ambiente.

La CEA cumplió con estas funciones condicionada por varios factores que la urgían a modificar las técnicas para el manejo de los desechos. En primer lugar, la *década de los sesenta había terminado con grandes muestras de inconformidad por la forma en que la CEA había desempeñado su trabajo. Las protestas por los daños ocasionados a la salud y el medio ambiente eran muy numerosas.*⁴

En segundo lugar la Ley de Protección ambiental que entró en vigor en 1970 obligó al DE a presentar informes sobre impacto ambiental de sus instalaciones. La evaluación debería incluir datos generales sobre la contaminación de aguas subterráneas, acuíferos de superficie, calidad del aire, vegetación, vida silvestre y población humana. El cumplimiento de ese requisito obligó a la industria nuclear a contar con un mapa de riesgos y puntos más contaminados. Por ejemplo, la

⁴ Vease el capítulo 3 de esta obra.

evaluación practicada en Oak Ridge permitió ubicar algunos de los puntos más contaminados de sus alrededores.⁵

Otro factor que presionó a la CEA para introducir innovaciones fue el hecho de que en 1972 la Convención Internacional de Londres Sobre Mares y Océanos prohibió los depósitos submarinos de desechos nucleares de alto nivel.⁶ Esta situación aumentó la presión para construir depósitos en tierra firme.

A esta situación deben sumarse otros factores. El aumento de los precios del petróleo colocaron a la industria nuclear ante la posibilidad de un rápido crecimiento comercial. Sin embargo la impopularidad que la energía nuclear había alcanzado después del accidente de Three Mile Island condicionaron su expansión. Por otra parte la Guerra Fría entró en un período de relativo relajamiento lo cual permitía distraer ciertos recursos a tareas de protección del medio ambiente.

Acicateada por las circunstancias, la CEA decidió apresurar el trabajo de un comité integrado por funcionarios, empresarios y miembros del Consejo Nacional de Investigación de la Academia Nacional de Ciencias (CNI-ANC) que se había formado desde 1968 con la encomienda de establecer cuáles eran las prioridades

⁵ (U.S. Department of Energy/Office of Environmental Restoration and Waste Management, 1993, p. 10)

⁶ Pocos años más tarde la CEA introdujo otro importante cambio en el manejo de los desechos como consecuencia de la presión internacional. En 1972 la Convención Internacional de Londres discutió el tema del vertido de desechos radioactivos y peligrosos en los fondos oceánicos. La posición de la delegación estadounidense se basó en un estudio realizado en los años cincuentas, cuyas conclusiones señalaban que los "desiertos marinos" ofrecían condiciones ideales para el depósito de todo tipo de desechos radioactivos. Sin embargo, en dicho evento la postura casi unánime de los países participantes consideró al depósito de basura radioactiva en fondos marinos como una actividad sumamente peligrosa. La delegación norteamericana opuso toda la resistencia posible a un acuerdo en ese sentido. Finalmente la presión internacional fue tan fuerte que la delegación estadounidense se vio obligada a abandonar su posición original. Tras una intensa negociación se tomó el acuerdo de prohibir el depósito de las sustancias comprendidas en una "lista negra" (comprendida por los desechos radioactivos de "alto nivel") y permitir los de la "lista gris" (integrada por las sustancias radioactivas de "bajo nivel"). Lo cual implicó una importante innovación la terminación de los depósitos submarinos de la basura más peligrosa y contaminante.

en relación en el manejo de los desechos radioactivos. El Comité presentó sus resultados en un documento publicado en noviembre de 1970.

El comité estimó que el problema más urgente era el manejo del combustible quemado procedente la industria nuclear civil. La primera cuestión que debía resolver era, como debería reprocesarse y posteriormente en que forma deberían colocarse los desechos. Esta recomendación implicaba que la industria nuclear adoptaría el *ciclo largo*⁷ del combustible nuclear y generaría un gran volumen de nuevos desechos.

El documento estableció además que el monto de los desechos de alto nivel que se generarían en las plantas reprocesadoras no deberían exceder un cierto volumen. El excedente que rebasara la norma establecida debería enviarse a plantas solidificadoras construidas exprofeso. Una vez que los desechos fueran solidificados deberían ser enviados a un depósito federal. Este último debería construirse en un plazo máximo de 10 años a partir de que comenzaran a funcionar las plantas reprocesadoras. El gobierno federal se haría cargo del depósito pero, las empresas deberían pagar el costo del depósito final.⁸

El segundo problema planteado por el comité fue el depósito de los desechos de alto nivel procedentes de la industria comercial y originados durante el *ciclo corto*. Estos también deberían ser colocados en un depósito federal a cargo del gobierno. Debido a que en esa época existían numerosas incertidumbres sobre las características de los depósitos, el comité recomendó la construcción de un *depósito experimental*, en Lyon, Kansas. Este depósito serviría para si una mina de

⁷ Ver capítulo 1.

sal era el sitio geológico natural idóneo para aislar los desechos durante un largo período. El Laboratorio Nacional de Oak Ridge fue comisionado para investigar la factibilidad técnica y económica del proyecto y de construir el prototipo. Los primeros desechos deberían enviarse a Kansas en 1972 y serían depositados en forma *irrecuperable*⁹.

El tercer asunto expuesto por el comité fue la necesidad de depositar los desechos de la defensa y particularmente los 80 millones de galones de desechos líquidos acumulados en Hanford y Savannah River. El manejo por separado de los desechos civiles y militares comenzó en los años sesenta y fue justificado porque: la composición química de ambos era diferente, el volumen de los desechos militares era superior y no existía la intención de trasladar los de un sitio a otro.

En el caso de Hanford el comité planteó que los desechos se almacenaran en los propios tanques donde se encontraban. Sin embargo, consideró que en Savannah era necesario construir una planta de solidificación debido a que la instalación se encontraba en una zona de gran precipitación fluvial y se ubicaba encima de importantes mantos acuíferos. De hecho por esa misma razón, se decidió reforzar los tanques de Savannah River donde se almacenaban los desechos líquidos dotándolos de un doble fondo. En octubre de 1970 la CEA anunció que excavaría pozos experimentales en el lugar para explorar la posibilidad de colocar los desechos provenientes de la futura planta de solidificación, en camas de roca, ubicadas en el subsuelo.¹⁰

⁸ (Hewlet, 1978, p. 12).

⁹ (Hewlet, 1978, p. 13).

¹⁰ (Hewlet, 1978, pp. 13-14).

El comité ratificó que el combustible quemado sería procesado por plantas comerciales. Los desechos de alto nivel serían solidificados. Construiría un depósito federal en un banco de sal subterráneo y depositaría los desechos de alto nivel de la defensa in situ en Hanford, Savannah y Idaho.

Por otra parte, a partir de 1970 la CEA le exigió a las instalaciones de Oak Ridge introducir algunos cambios en el manejo de los desechos transuránicos de origen militar. Antes de esa fecha era una costumbre enterrar la basura TRU y uranio 235 en trincheras o agujeros cavados en el suelo, los cuales se tapaban con concreto o tierra. A partir de ese momento tendría que separarse la basura TRU con más altos índices de radiación respecto a los desechos sólidos de TRU incrustados entre la chatarra o mezclados con uranio 235. Los desechos TRU deberían ser almacenados en un sitio especial, donde permanecerían durante un plazo máximo de 20 años a partir del cual serían recuperados y enviados a un depósito especialmente diseñado para ellos.¹¹ Bajo esa premisa, los desechos comenzaron a ser empaquetados en tambos, esferas de acero inoxidable o casquillos de concreto. El depósito se construiría en Carlsbad, Nuevo México.

Otro de los cambios introducidos por la CEA, fue la puesta en marcha de dos grandes programas de remedio para limpiar los numerosos lugares que habían sido contaminados a lo largo del territorio estadounidense, por el Proyecto Manhattan y la operación de las minas de Grand Junction, Colorado,¹² cuyos desechos se

¹¹ (U.S. Department of Energy/Office of Environmental Restoration and Waste Management, 1993, p.

12)

¹² (Goslin, 1994).

habían utilizado para la construcción de edificios públicos y casas habitación (como recordará el lector, por lo dicho en el cap. 4).

Otro de los cambios introducidos por la CEA entre 1970 y 1973 fue la disminución de las dosis consideradas admisibles, en las islas del Océano Pacífico que habían sido contaminadas por las pruebas nucleares. Asimismo se elevaron el gasto y las normas de calidad, en las labores de limpieza y rehabilitación llevadas a cabo en la isla Enewetok, la cual, había sido severamente afectada por diversas explosiones nucleares realizadas en años anteriores ¹³. Esta fue una importante conquista de las movilizaciones realizadas por los diversos pueblos de la región.

En suma, entre 1970 y 1973 la CEA consideró por primera vez que el asunto de los desechos era un todo y requería de una política central. Todas estas medidas implicaron un cambio cualitativo en la tecnología para controlar la basura, sobre todo en relación con las prácticas anteriores que eran mucho menos cuidadosas.

5.2.2 La respuesta de la sociedad

Cada uno de los distintos actores sociales recibieron las innovaciones introducidas por la CEA con diferentes actitudes. Sin embargo hubo una amplia coincidencia en considerarlas insuficientes para garantizar la seguridad de los trabajadores y las comunidades locales. Por esta razón diversas organizaciones

¹³ (International Commission to Investigate the Health and Environmental Effects of Nuclear Weapons Production/ Institute for Energy and Environmental Research 1991, 1991, p. 80).

ambientales, comunidades locales y asociaciones científicas criticaron diversos aspectos de las innovaciones e iniciaron una serie de enérgicas protestas.

Diversos científicos consideraron que los programas de solidificación eran un error por ser onerosos e ineficaces al adoptarse antes resolver dónde serían depositados los desechos. Esta situación implicaba que existirían muchas incertidumbres sobre la interacción entre la forma en que se solidificarían y el medio ambiente donde serían depositados.

Por otra parte cuestionaron el concepto de depósito, porque implicaba que los desechos no serían recuperables a pesar de que existía la posibilidad de que en el futuro se desarrollaran métodos más eficaces para empaquetarlos y depositarlos. Adicionalmente objetaron la decisión de depositarlos en camas de sal porque no aún no se determinaba plenamente cuál sería la formación geológica más adecuada para depositarlos.¹⁴

En 1971 un grupo de diputados, encabezados por el representante Joe Skubitz objetó la construcción del basurero de Lyon, Kansas. Su argumento fundamental fue que en el subsuelo del lugar existían 29 túneles para petróleo y gas, de los cuales solo 25 podían ser rellenos¹⁵. Además existía una compañía de sal que planeaba expandir sus operaciones y podría afectar la mecánica de suelos del lugar.

En marzo de 1971, 48 miembros del Congreso Estatal de Kansas rechazaron la construcción del basurero. En abril de ese año los científicos locales cuestionaron

¹⁴ (Goslin, 1994).

¹⁵ (Hewlett, 1978, p. 19).

la consistencia del informe técnico en el cual se sustentaba la propuesta¹⁶. En septiembre de ese año, la oposición legislativa y social al proyecto era tan grande que la CEA comenzó silenciosamente a abandonar el proyecto. Durante el segundo semestre de 1972 la CEA comenzó a explorar otras posibilidades como construir el basurero en bancos de sal ubicados en otros lugares del territorio norteamericano o construirlo en otro tipo de formaciones geológicas.

A partir de ese momento la CEA analizó durante algún tiempo la posibilidad de sustituir los depósitos subterráneos, irrecuperables y en formaciones geológicas naturales por otro tipo de alternativas. Las opciones estudiadas fueron numerosas: mandar la basura al espacio exterior; reabrir los depósitos submarinos; separar los radioisótopos peligrosos o; construir depósitos subterráneos pero artificiales.¹⁷ Algunas de estas opciones se descartaron porque implicaban retos técnicos muy sofisticados y poco relacionados con la industria nuclear. Por ejemplo, enviar los desechos al espacio dependía fundamentalmente del desarrollo de una formidable industria coheteril que además requeriría de sumas exorbitantes para minimizar la posibilidad de un accidente durante la fase de despegue.

Después de descartar una a una las alternativas, los técnicos de la CEA plantearon la posibilidad de construir almacenes provisionales, en Handford para ubicar los desechos en tanto se encontraba una solución definitiva.

Por su parte, las comunidades locales ofrecieron una fuerte oposición a que los basureros se instalaran en su territorio. F.G. Goslin, Director del Archivo Histórico del Departamento de Energía resume la situación prevaleciente entonces

¹⁶ (Ibid, pp 17-26).

del siguiente modo: todo el mundo estaba de acuerdo en que era necesario poner los desechos en algún lado pero en el momento en que se seleccionaba algún lugar todo mundo se preguntaba: "¿Por qué en mi jardín?".¹⁸ Este fue el caso del proyecto de construir un depósito en West Valley, Nueva York, donde las comunidades locales protestaron con tal energía que lograron involucrar al Senado estadounidense y obligarlo a vetar el proyecto.

En 1972 la intensa movilización popular obligó al gobernador Jimmy Carter de Georgia y al senador Ernest F. Hollings a rechazar enérgicamente el proyecto de construir un depósito de desechos en Savannah River. Después de una intensa discusión, el Senado desautorizó la construcción del depósito.

Las protestas sociales contra la CEA subieron de tono en julio de 1973, al ocurrir un grave accidente. En Hanford se derramaron grandes cantidades de basura líquida por la aparición de grandes grietas en quince de los gigantescos tanques donde se almacenaban. Las fugas implicaron un derrame de "por lo menos 115 000 galones de basura radioactiva, nada más del tanque número 106-T".¹⁹ Además significaron la emisión de 400 mil curies por cesio 137 y 14 mil curies irradiados por estroncio 90. El derrame fue en su momento el peor accidente de la industria nuclear estadounidense, relacionado con desechos nucleares.

El desastre provocó airadas reacciones entre los trabajadores y los científicos de Hanford, quienes desde el mes de abril, habían alertado sobre la existencia de

¹⁷ (Hewlett, 1978, p. 20).

¹⁸ (Goslin, 1994).

¹⁹ (U.S. Department of Energy/Office of Energy Office of Environmental Restoration and Waste Management, 1992, p. 47).

varios tanques que presentaban síntomas de grave corrosión e incluso la presencia de varias fugas pequeñas. A pesar de ello, las autoridades del lugar no habían tomado ninguna medida. Indignados por esta situación, los trabajadores cuestionaron la obsolescencia de los equipos utilizados para manejar los desechos altamente peligrosos que se encontraban almacenados en Hanford y en otras muchas instalaciones activas e inactivas en diversos puntos del territorio estadounidense.²⁰

El suceso fue ampliamente cubierto por la prensa norteamericana. Por ejemplo, el periódico *Los Angeles Times* enfatizó la gravedad y las implicaciones del incidente. La organización Union Concerns Scientists encabezada por Ralph Nader envió una carta afirmando que las "técnicas primitivas de almacenamiento" eran francamente "negligentes" y que "la CEA está(ba) más preocupada por seguir acumulando basura que por resolver el problema de encontrar un lugar para almacenar la basura existente".²¹ Bajo estas circunstancias agregó "es imprudente seguir acumulando desechos cuando no se ha resuelto el problema de como almacenarlos".²²

El accidente ocurrido en Hanford trajo a la memoria otros incidentes. Por ejemplo, en agosto de 1970 ocurrió un accidente en el laboratorio Livermore donde se escaparon 30 000 curies de radiación. En 1971, 50 000 galones de desechos nucleares fueron dispersados accidentalmente en un reservorio de agua para beber ubicado en el monte St. Paul.

²⁰ (Stenehjem, 1992).

²¹ (Hewlett, 1978, p 25)

²² Ibid.

El suceso catalizó las críticas a la tecnología adoptada por la CEA y provocó una vasta movilización en contra de la industria atómica. La eficacia de la protestas ambientales en Estados Unidos fue aún mayor debido a que aprovechó la experiencia acumulada por las movilizaciones antinucleares en Europa, las cuales habían obtenido importantes éxitos en su lucha contra el despliegue de los cohetes Pershing II. Además el movimiento antinuclear estadounidense elevó su nivel de organización, sus formas de lucha y sus demandas hasta alcanzar un alto grado de sofisticación.

En conclusión la sociedad recibió las innovaciones realizadas por la CEA con un profundo escepticismo y respondió con un mensaje contundente: las modificaciones introducidas a partir de 1970 eran insuficientes e insatisfactorias. Si la CEA deseaba impedir el riesgo de que el movimiento antinuclear continuara creciendo tendría que mejorarlas. El rediseñamiento de las técnicas para manejar y depositar los desechos se había vuelto un imperativo.

Paralelamente se presentó una situación que sensibilizó a la CEA. A partir de octubre de 1973, cuando la Guerra Árabe-Israelí provocó que los precios del petróleo se cuadruplicaran ²³ y motivó a que muchos gobiernos y empresarios del mundo voltearan la vista hacia la industria nuclear civil. La crisis del petróleo abrió la posibilidad de un rápido crecimiento de la industria nuclear civil , pero para ello era necesario rediseñar las técnicas para manejar los desechos y persuadir a la sociedad de que el problema estaba básicamente resuelto.

²³ (Maull, 1984 p. 4-6).

5.3. El segundo ciclo (1974-1976)

5.3.1 El mensaje de la AIDE

En 1974 se inició un segundo ciclo de comunicación. El gobierno estadounidense decidió reformular su política para el manejo de los desechos y emprendió una serie de cambios. Modificó las instituciones encargadas de atender a la industria nuclear, planteó nuevas normas para manejarlos. Sometió nuevamente a investigación la ubicación, el tipo de suelo y el concepto mismo de depósitos. Creó un ambicioso programa experimental. Y adicionalmente emprendió una fuerte ofensiva propagandística. Estos cambios constituyeron el segundo mensaje que la CEA le enviaba a la sociedad.

El más sobresaliente de los cambios fue de orden institucional. El gobierno estadounidense sustituyó a la Comisión de Energía Atómica por dos nuevas instituciones: la Agencia de Investigación y Desarrollo de Energía (AIDE) y la Comisión Reguladora Nuclear. La primera continuaría las tareas productivas de su antecesora, la segunda establecería las normas necesarias para garantizar que las actividades atómicas no pusieran en peligro, ni a los ciudadanos, ni al medio ambiente y vigilaría su cumplimiento. Ambas instituciones comenzaron sus actividades en enero de 1975. La separación de las funciones de producción y vigilancia se presentó a la sociedad como un gran avance.

La AIDE tomó una serie de medidas. En primer lugar unificó el manejo de los desechos civiles y militares. Hasta 1972 la basura de origen civil y militar había sido manejada por diferentes instancias. La División de Mantenimiento y Transporte había manejado la basura civil, mientras la División de Producción y Mantenimiento

de Materiales había manejado militar. La unificación de su manejo fue una respuesta a que "conforme crecía la preocupación de la opinión pública respecto al tema de los desechos, la «sutil» división entre unos y otros tuvo desastrosos resultados en la opinión pública".²⁴

Así mismo impulsó otras tres novedades, los conceptos de *barreras múltiples* (que explicaremos más adelante) y el de *almacén* así como, el desarrollo de "una tecnología que permitiera una rápida demostración de eficiencia para la construcción de depósitos permanentes..."²⁵.

El concepto de almacén fue una respuesta a las críticas respecto a que el concepto de depósito volvía prácticamente imposible recuperar la basura en caso de que en el futuro se desarrollaran métodos más eficientes para manejarlos. Por ello el concepto de almacén implicó que la basura debería depositarse en alguna forma que permitiera su recuperación en el futuro. Además la AIDE reabrió la investigación sobre la ubicación y las formaciones geológicas donde se ubicarían los almacenes.²⁶

La tecnología para depósitos permanentes se desarrolló a través del Proyecto Piloto de Aislamiento de Basura (PPAB). Éste tenía como objetivo diseñar y construir un sofisticado depósito de nuevo tipo capaz de albergar desechos transuránicos de origen militar. El PPAB se ubicaría en Carlsbad, Nuevo México y constaría de una serie de cámaras subterráneas excavadas en bancos de sal, situados a 2 150 pies de profundidad. Su principal innovación no era técnica sino

²⁴ (Hewlett, 1978, p 23).

²⁵ (Goslin, 1994 p. 21).

²⁶ (Hewlett, 1978).

política; los detalles finales del proyecto serían definidos conjuntamente con científicos y organizaciones externas a la AIDE.²⁷

Adicionalmente la AIDE pospuso indefinidamente sus planes de convertir a Hanford y Savannah River en depósitos permanentes y postergó la construcción de un depósito para los desechos de origen militar. Paralelamente consideró que existían dos opciones para el depósito de los desechos civiles: un depósito subterráneo en alguna formación geológica natural (las camas de sal continuaban siendo la opción más favorecida) o un depósito artificial de superficie. Ambas tecnologías continuarían explorándose. Sin embargo, tanto en el caso de los civiles como de los militares la AIDE consideró urgente el desarrollar instalaciones y quipos para un depósito permanente.

En 1975 la CEA presentó un informe con una descripción detallada de las opciones técnicas existentes. Entre ellas destacaron el concepto de *barreras múltiples*, consistente en utilizar barreras artificiales y naturales para mantener aislados los desechos. Esto implicó entre otras cosas las siguientes necesidades: transformar los desechos líquidos a formas sólidas más estables, empaquetar los desechos solidificados y colocarlos en una formación geológica adecuada.²⁸ Para la construcción de éstos depósitos debería realizarse un estudio en diversos lugares, evitando concentrar todas las esperanzas en un solo lugar.

²⁷ (Mason 1977).

²⁸ (Hewlett, 1978, p 34).

Poco tiempo después, en marzo de 1976, comenzó a funcionar la primera planta segregadora de basura transuránica, en Oak Ridge. Los lodos que eran separados durante el proceso fueron enviados a una vasija de plorivinil de cloro.

Otra innovación -destinada a neutralizar las objeciones formuladas por los trabajadores de Hanford y los científicos externos- fue la construcción de dos plantas de solidificación de desechos de alto nivel. Una de ellas se planeó construirla en Hanford²⁹, Oregon y la otra en Lyon, Kansas. Ambas compartían dos objetivos: reducir el volumen de los desechos (que para entonces ya rebasaban la capacidad instalada de los tanques) y evitar que la corrosión de los tanques de almacenamiento provocara futuros accidentes.

Simultáneamente la AIDE tomó una importante medida respecto al combustible quemado. A partir de ese momento se asumiría la necesidad de colocarlo en almacenes provisionales, en tanto se procesaba y resolvía donde depositarlo.

En el caso particular de Hanford la Compañía Westinghouse puso en marcha una serie de medidas para complementar la solidificación, clausuró varias plantas y construyó tanques de almacenamiento de doble esfera³⁰ -para evitar nuevos derrames en río Columbia. Estas medidas fueron anunciadas con bombo y platillos ante la opinión pública. La propaganda al respecto afirmó que bajo estas nuevas condiciones el sitio había quedado tan limpio que era un hogar ideal para la fauna

²⁹ Entre 1974 y 1976 la CEA construyó dos modernos evaporadores para eliminar los radionucleidos con vidas medias más cortas, antes de colocarlos en tanques. Además intensificó tres programas que databan de 1968, el de solidificación, el de estabilización y aislamiento y el de recuperación de cesio y estroncio (U.S. (Department of Energy/Office of Energy/Office of Environmental Restoration and Waste Management, 1992).

silvestre, de tal manera que muchos "pelicanos, águilas, águilas doradas, salmones, esturiones y muchos otros animales [han encontrado] un lugar ideal [para vivir] lejos de la gente" .³¹

La AIDE acompañó los cambios con una intensa campaña de propaganda. Uno de sus ejes fue enfatizar que la industria nuclear era sumamente segura, para lo cual difundió ampliamente una frase que el doctor Rasmussen había utilizado en su informe sobre el "máximo accidente posible" en un reactor: "Es más probable que un hombre sea aplastado por un meteorito a que ocurra un accidente en un reactor".³²

5.3.2 La respuesta de la sociedad

Ni las medidas tomadas por la AIDE, ni la propaganda convencieron a la sociedad. Diversos sectores sociales recibieron el segundo mensaje de las autoridades atómicas con escepticismo y ofrecieron una actitud de fundamentada oposición a ellas. Por ejemplo, las movilizaciones de grupos ambientalistas en California consiguieron una importante victoria al lograr que su estado suspendiera

³⁰ (U.S. Department of Energy/Office of Energy Office of Environmental Restoration and Waste Management, 1992).

³¹ (U.S. Department of Energy/Office of Energy/Office of Environmental restoration and Waste Management, 1992, p. 47). Adicionalmente la propaganda insistía en que la construcción de la Planta de Aislamiento de Basura en Basalto inyectó 36 millones dólares en los condados de Franklin y Benton y benefició a las denominadas Tres Ciudades Nucleares, en las cuales sus ventas crecieron hasta llegar a 63 millones de dólares en 1974. Además, agregaba esta optimista visión del asunto, las ventas de los condados antes mencionados crecieron hasta llegar a 460 millones en 1975 (U.S. Department of Energy/Office of Environmental Restoration and Waste Management, 1993, p. 18)

³² (U.S. Nuclear Regulatory Commission, "Reactor Safety Study: An Assesment of Accident Risk in U.S. Commercial Nuclear Plants" citado en (Wearth, 1988).

el otorgamiento de licencias para abrir nuevas plantas nucleares hasta que se demostrara que el problema de los desechos había sido resuelto.

Por su parte, el Congreso ordenó a la AIDE una nueva lista de los lugares contaminados en los primeros días de las actividades atómicas.³³ Sorpresivamente, los militares se sumaron a la lista de descontentos, aunque por razones muy diferentes a los demás, manifestaron su incomodidad por la intervención la Comisión Reguladora Nuclear, y en general, por el creciente control público sobre un asunto que "requería mantenerse en secreto".³⁴

La atmósfera de descontento se incrementó al presentarse un nuevo accidente en Hanford. La vasija East K dispersó alrededor de 15 millones de galones de combustible irradiado, según estimaciones oficiales. El incidente contaminó el suelo con 2 500 curies mayoritariamente de estroncio-90 y cesio-137

³⁵

La comunidad científica volvió a objetar diversos aspectos del programa de solidificación.³⁶ Las comunidades locales criticaron la ubicación de los lugares seleccionados para construir los almacenes. Diversos sectores protestaron por el hecho de que seguía pendiente la cuestión de los desechos de origen militar. Por lo tanto la nueva tecnología también había fracasado.³⁷

³³ (Makhijani, 1995).

³⁴ (Goslin, 1994).

³⁵ Lo más grave de todo es que las vasijas de esa área contienen alrededor de 100 toneladas métricas de combustible irradiado, no son resistentes a los temblores y sus materiales se están degradando muy rápidamente según una investigación muy reciente. (Makhijani, 1995, p. 223).

³⁶ (Goslin, 1994).

³⁷ Ibid.

Diversas organizaciones rechazaron participar en el Proyecto Piloto de Aislamiento de Basura, por muy diversas razones ³⁸. En primer lugar, la basura transuránica se encontraba en 23 más de lugares ubicadas a considerables distancias de Nuevo México. Por lo tanto su transportación implicaría grandes riesgos. En segundo lugar la participación de las organizaciones invitadas era realmente muy limitada. En tercer lugar la invitación se había formulado cuando todo había sido virtualmente decidido. En cuarto lugar solo invitó a una lista muy limitada de científicos y organizaciones independientes.

El acre intercambio de mensajes entre las instituciones nucleares y la sociedad empezó a subir de tono; La sociedad estadounidense retomó una frase de origen alemán para expresar su descontento: "Más vale hoy activos que mañana radioactivos." ³⁹ En 1974 la activista ambiental Karen Silkwood murió en un misterioso accidente en la carretera cuando viajaba a una reunión en la que denunciaría la inseguridad de las actividades nucleares en Kerr -McGee. Las circunstancias que rodearon el accidente convencieron a muchos periodistas y activistas de que había sido asesinada por la industria nuclear.

El descontento social por la forma en que la AIDE manejaba los desechos aumentó al año siguiente, cuando las autoridades de Colorado descubrieron que 5000 casas y edificios públicos representaban un importante peligro para sus

³⁸ El futuro parece haberle dado la razón a sus opositores. En 1983 el Departamento de Energía lo transformó en un depósito de basura transuránica a pesar de que fue diseñado originalmente para basura recuperable. En 1996 persisten muchas dudas sobre la seguridad que ofrecen sus características geológicas y por si fuera poco ha presentado ruptura prematura de sus techos. (Makhijani, 1995, p. 260).

³⁹ Al parecer la frase fue acuñada cuando la policía arremetió contra 20 000 jóvenes que exigían clausurar el reactor Wyhl ubicado en el Rhin. Y fue retomada por los movimientos norteamericanos.

dueños porque habían sido construidos con concreto que contenía residuos mineros procedentes de Gran Junction.

En suma al concluir el año de 1976 el manejo de los desechos continuaba siendo insatisfactorio para amplios sectores sociales.

5. 4.- El tercer ciclo (1977-1979)

5.4.1 El tercer mensaje de las autoridades

En 1977, el gobierno estadounidense envió su tercer mensaje a la sociedad. La AIDE fue sustituida por una nueva institución: el Departamento de Energía (DE). La flamante institución tomó cartas en el asunto de los desechos de manera inmediata. El mismo año de su creación (1977) las inversiones en investigación sobre desechos nucleares alcanzaron una cifra récord: 90 millones de dólares (60 millones más de los invertidos el año anterior).⁴⁰

Ese mismo año se presentó otro gran cambio. El Presidente Jimmy Carter anunció que Estados Unidos suspendería indefinidamente el reprocesamiento del combustible civil, con el objetivo de alentar a otros países a hacer lo mismo. Esta decisión fue tomada para desalentar el empleo del *ciclo largo* de la industria nuclear y evitar la proliferación de países poseedores de armas nucleares.

El siguiente paso del DE fue la integración de un equipo de especialistas en diversos aspectos vinculados con la generación, el manejo y el depósito de basura. El equipo explicó muchos de los problemas como resultado de las operaciones y las

⁴⁰ (Goslin, 1994).

prácticas productivas. Ratificó la urgencia de crear plantas de solidificación y empaquetamiento, en Handford y Savannah River. Asimismo retomó el Proyecto Piloto de Aislamiento de Basura aunque sugirió que éste debería servir también para realizar experimentos para el manejo de los desechos de la industria nuclear civil.

La mayor novedad en los planteamientos del equipo fue la propuesta de instaurar un proceso democrático que permitiera la participación de científicos, organizaciones ambientales y comunidades locales, ajenos al Departamento de Energía, en la selección de la tecnología que se usaría para manejar la basura. La propuesta buscaba la credibilidad y el respaldo de la sociedad. El equipo diseñó cuidadosamente una estrategia para manejar a la opinión pública y convencerla de que el asunto sería resuelto.

El equipo propuso la creación de una instancia capaz de darle legitimidad a cualquiera que fuera la tecnología a aprobarse. Tras explorar diversas posibilidades, los expertos del Departamento de Energía propusieron la creación de un Grupo Inter-institucional de Supervisión de los asuntos relacionados con la basura.

Poco más tarde, los representantes de distintas instituciones gubernamentales y organizaciones sociales asistieron al evento de conformación de la nueva instancia.

5.4.2 La respuesta de la sociedad: El enemigo público número uno

Los diversos sectores sociales escrutaron con mucha atención el tercer mensaje enviado por las instituciones nucleares. Para empezar, el Grupo Inter-institucional de Supervisión, cuestionó las propuestas presentadas por el Departamento de Energía y criticó severamente los procedimientos y las normas tecnológicas que empleaba la industria nuclear (civil y militar) para manejar la basura. El grupo golpeó el corazón de las reformas al recomendar la cancelación del Proyecto Piloto de Aislamiento de Basura hasta que una nueva exploración geológica determinara si el sitio era adecuado o no para garantizar el aislamiento de los desechos durante el largo plazo. Adicionalmente consideró que la industria nuclear civil y la militar compartían los mismos problemas, lo cual implicaba que la industria nuclear civil tenía parámetros de eficiencia muy por abajo de las demandas de seguridad y eficiencia que requería la sociedad.

Las recomendaciones del grupo revelaron que las decisiones tomadas por el DE eran sumamente frágiles cuando se les sometía a una mínima discusión democrática y que la adopción de formatos militares para la industria nuclear civil había configurado una industria civil poco apta para la competencia comercial.

Pero los cuestionamientos a la política aplicada por el Departamento de Energía no fueron exclusivos del Grupo Intergubernamental. Por ejemplo, según una investigación conducida por el Departamento de Ingeniería del Instituto Tecnológico de Massachusetts "la legislación existente sobre basura nuclear [era]

bastante ineficiente [y requería de] importantes cambios " ⁴¹. Por su parte las investigaciones sobre depósitos submarinos arrojaron datos que cancelaron esa posibilidad como alternativa⁴².

Las conclusiones del grupo fueron complementadas por una serie de movilizaciones locales y ambientalistas. Algunas de ellas aumentaron cuando en 1978 un satélite soviético con propulsión nuclear se estrelló en Northwestern Canada dispersando pedazos de chatarra con 500 000 curies de radioactividad. Ese mismo año, un articulista de la revista Foreign Affairs calificó la industria nuclear como "el enemigo público número 1".⁴³

⁴¹ (Mason, 1977 p. 117).

⁴² Por su parte un estudio realizado por W. Jackson Davis de la Universidad de California, reveló que los depósitos marinos representaban una importante fuente de contaminación debido a que la corrosión había dañado las cajas de desechos usadas para depósitos submarinos. Lo peor del asunto era que a diferencia de lo que se había pensado en los años sesenta, los radionucleídos que escapaban de ellas, no permanecían en áreas contiguas a las cajas de depósitos sino que se esparcían en áreas muy extensas. Las conclusiones mostraban un problema aún más grave. Las cajas de basura radioactiva formaban un habitat artificial y atraían a numerosas especies marinas. Esto implicaba que los radionucleídos se introducían en la cadena alimentaria y provocaban la acumulación vectorial de las dosis de radiación en las especies mayores. Esta postura fue reforzada y coincidió con la de muchos otros científicos que habían arribado a conclusiones similares. Por tanto aumentó la presión en favor de prohibir los depósitos marinos de la llamada "lista gris" de la que hablamos al inicio del capítulo. Esta situación implicó la necesidad de considerar un importante incremento en el volumen de los desechos que deberían ser depositados en tierra, donde por cierto, no había muchos ciudadanos dispuestos a darles la bienvenida. (May, 1985 p. 3).

⁴³ El artículo fue escrito por Jerry Ackerman y al parecer fue reseñado por, en "[Nuclear] Energy's Public Enemy N°1" publicado en el Globe de Boston el 8 de octubre de 1978. Citado por Weart, (1987).

5.5 El cuarto ciclo: Del autoritarismo a Three Miles Island

5.5.1 El cuarto mensaje: Three Mile Island

Ante la continua movilización social contra la ineficacia del Departamento de Energía, éste envió el cuarto mensaje de la década. Abandonó los incipientes espacios de negociación con los científicos externos y las organizaciones ambientales y emprendió una serie de medidas autoritarias encaminadas a instrumentar sus innovaciones sin el concurso de la sociedad. Con el objetivo de librarse del escrutinio social, el DE limitó el PPAD a los desechos militares. Con esta medida sus operaciones quedarían exentas de supervisión externa. Devolvió su administración a los militares, desconoció las sugerencias del Grupo Interinstitucional de Supervisión y abrió el basurero sin consultar a nadie.

Paralelamente la Academia Nacional de Ciencias (ANC) recogió de la circulación una versión mecanografiada del informe. Sobre los efectos de la Radiación Isotópica sobre la Población. El documento había sido elaborado por el Comité Médico Asesor de la División de Ciencias Médicas de la ANC y en resumen había planteado que la emisión de rayos gama en pequeñas dosis si era un agente cancerígeno. La ANC obligó a la comisión a reunirse nuevamente y no aprobó el borrador hasta que fue suavizado⁴⁴.

⁴⁴ Vid. (Rotblat, 1981).

En medio de ese intento por revertir los espacios que se habían abierto a la participación pública, ocurrió un accidente que cambió dramáticamente la correlación de fuerzas: Thre Miles Island.

"La secuencia de eventos que arrojó como resultado el peor accidente de la industria nuclear comercial de los Estados Unidos, comenzó a las cuatro de la mañana del 28 de marzo de 1979 cuando falló una bomba del sistema secundario de enfriamiento de uno de sus reactores".⁴⁵ Trás el incidente, sonó la alarma en el cuarto de control de máquinas advirtiendo a los operadores que algo andaba mal. Estos últimos, desconcertados al no poder ubicar con exactitud la falla, permitieron que el reactor siguiera trabajando a toda su capacidad. Posteriormente una serie de fallas técnicas complicó aún más la situación. Sonó una segunda alarma. A pesar de todo el reactor continuó trabajando a toda su capacidad. Poco después, el sistema primario de enfriamiento comenzó a fallar. A partir de ese momento todo fue cosa de minutos. La temperatura del corazón del reactor se elevó hasta comenzar a fundirse. Inmediatamente comenzó a levantarse una columna de gases sobre el cielo del condado de Dauphin, Pennsylvannia.

Cuatro días después de iniciado, el accidente continuaba dispersando contaminantes peligrosos. A pesar de que existían múltiples evidencias de que la contaminación de la zona había alcanzado niveles que hacían recomendable evacuar a por lo menos 200 000 mil habitantes, la empresa General Public Utilities Nuclear Corporation minimizó lo ocurrido y puso en mayor peligro a muchos habitantes de Pennsylvania.

⁴⁵ (May, 1989, p. 215-228).

Richard Thornburgh, Gobernador del Estado careció de información confiable sobre lo que estaba ocurriendo. Vaciló durante cuarenta y ocho horas más, es decir seis días después de que comenzó la tragedia antes de tomar una decisión. La incredulidad y la incertidumbre sobre la magnitud del desastre eran tan grandes que inclusive los miembros del Centro de Respuesta a Accidentes enviado a la zona por la Comisión Reguladora Nuclear se encontraban estupefactos. Uno de sus miembros declaró que "tuvo que pellizcarse el brazo para creer que lo ocurría era real".⁴⁶

Cuando finalmente sonaron las alarmas exteriores del reactor las autoridades estatales le dijeron a la población que el accidente estaba bajo control y declararon una evacuación opcional. El pánico cundió entre los habitantes. Muchos de ellos comenzaron rápidamente a abandonar la zona.

Es difícil evaluar los daños provocados por el incidente porque los sistemas para monitorear los niveles de radiación fallaron. Sin embargo una amplia región circundante a la instalación nuclear recibió dosis de cuando menos 40 rads por hora.⁴⁷ La contaminación generó muchas "manchas calientes".⁴⁸

Muchos años después del accidente continúan las discusiones sobre su impacto. "La gentes caen como moscas por todos lados por enfermedades provocadas por el accidente".⁴⁹ Muchos residentes están enfermos declaró Mary

⁴⁶ (Ford, 1982 p. 168).

⁴⁷ Según declaró posteriormente el reconocido doctor Sternglass.

⁴⁸ Según afirmó el doctor Bernd Franke director del Institute for Energy and Environmental Research's después de varios estudios.

⁴⁹ Declaró Jane Lee habitante de una de las islas cercanas. Citada en (May, 1989 p. 220).

Holowka quien no escuchó a tiempo la invitación a la evacuación opcional y ahora padece infecciones en la tiroides y cáncer.

Sobre lo que existe certeza es que murieron muchas cabezas de ganado.⁵⁰ Los huevos de las gallinas quedaron estériles. Muchos mamíferos abortaron. Según el botánico James E. Gunckel encontró muchas anomalías genéticas entre las especies vegetales del lugar. Pueden esperarse muchos efectos negativos por el accidente declararon algunos años después los epidemiólogos de Harvard y Pennsylvania que estudiaron el caso.⁵¹ En 1983, la corte condenó a la empresa que administraba Three Mile Island por haber falsificado datos que hubieran permitido prever, evitar, controlar y minimizar el impacto del accidente. La limpieza del lugar costará -porque aún no concluye- por lo menos mil millones de dólares.⁵²

5.5.2 La respuesta de la sociedad: La nueva ley.

La tragedia fue vista por millones de espectadores a través de la televisión. Se convirtió en el accidente industrial más largamente tratado en los periódicos. El impacto provocado por las noticias fue aun mayor porque apenas unos meses antes se había exhibido la película "Síndrome de China".⁵³ Las noticias sobre el accidente

⁵⁰ Ibid p. 221.

⁵¹ Ibid.

⁵² (Dennis, 1984 b, p. 283-300).

⁵³ (Wearth, 1988, p. 336-337).

sensibilizaron a la opinión pública y aumentaron las movilizaciones contra el Departamento de Energía.

Este último se vio obligado a suspender las medidas que había tomado para resolver autoritariamente el conflicto suscitado con la sociedad por la forma en que manejaba los desechos y fracasó en su intento de revertir los avances conseguidos en los años anteriores.

En octubre de 1979 se formó un grupo denominado Comisión Kemeny para estudiar el impacto del accidente. La comisión concluyó que si no hubiera sido por errores humanos [¿hay otros?] las fallas técnicas hubieran tenido consecuencias mínimas. La comisión criticó a la Comisión Reguladora Nuclear "por no poseer la organización y capacidad de garantizar que los trabajadores contaran con las habilidades necesarias para cumplir con los objetivos de seguridad".⁵⁴

El DE nombró un comité denominado Crawford. Éste estudió las condiciones de seguridad en diversos reactores y llegó a la conclusión de que en general existía un amplio margen de seguridad, pero que se había descuidado el mantenimiento de los reactores y no había una adecuada supervisión central de los mismos. Además recomendó que un grupo de expertos externos informara directamente al Secretario de Energía sobre la evolución de las condiciones de seguridad de los reactores.⁵⁵

Los electores presionaron a sus representantes ante el Congreso y los obligaron a cuestionar muchas de las decisiones que había tomado el DE, en las reformas que hemos llamado el cuarto mensaje. En 1980 el Congreso aprobó la Ley

⁵⁴ (Fehner, 1995, p. 22).

⁵⁵ (Fehner, 1995, p. 22).

de Responsabilidad, Respuesta y Competencia, Compensación y Respuesta Sobre el Ambiente (CERCLA p.s.i..) en la cual, estableció las responsabilidades y obligaciones de empresas e instituciones en caso de dispersión de sustancias radioactivas en el medio ambiente así como la responsabilidad de realizar labores de limpieza en sitios inactivos..⁵⁶

La ley le impuso nuevas obligaciones a la industria nuclear y terminó con una serie de privilegios del Departamento de Energía. Sin embargo mantuvo elevados niveles de tolerancia. Por ejemplo, el monto de las indemnizaciones que tendrían que pagarse en caso de accidente resultó una miniatura.

De esta manera la década de los setenta concluyó con un rechazo de la sociedad al cuarto mensaje enviado por las autoridades nucleares. A lo largo de cuatro etapas la tecnología para manejar los desechos había sido objeto de importantes modificaciones. A pesar de que la industria nuclear mantenía intactos algunos de sus privilegios, había tenido que rediseñar en varias ocasiones el empaquetamiento de la basura, las instalaciones donde serían depositados y las leyes que regulaban su manejo.

⁵⁶ (Goslin, 1994).

5.6. Conclusiones

La década de los setenta estuvo dominada por una paradoja mientras la crisis del petróleo abrió la posibilidad de una expansión casi ilimitada de la industria nuclear, su impopularidad limitó su crecimiento. Esta situación volvió relativamente más sensible a la comunidad nuclear sobre la necesidad de modificar su tecnología para el manejo de la basura si quería aprovechar las posibilidades abiertas para su expansión. El resultado de esta situación fue la realización de una serie de importantes cambios institucionales, normativos y técnicos en el manejo de los desechos.

Las modificaciones tecnológicas antes mencionadas fueron fuertemente influidas por el proceso de comunicación entre la comunidad nuclear y el resto de la sociedad estadounidense. Las continuas protestas de científicos, veteranos atómicos, comunidades locales y representantes públicos obligaron a la comunidad nuclear a rediseñar en varias ocasiones, diversos aspectos relacionados con la tecnología para manejar los desechos.

Por citar algunos casos: el concepto de *depósito* fue sustituido por el de *almacén*; el concepto de *barreras múltiples*; el desarrollo de sistemas de *empaquetamiento* para la basura TRU; la unificación de los desechos civiles y militares; la cancelación del depósito de Lyon, Kansas; e incluso la suspensión del *ciclo largo* del combustible nuclear.

Muchos de estos cambios no hubieran sido posibles sin la continua elevación de la capacidad de confrontación de los movimientos ambientalistas, la

recuperación de las experiencias de las movilizaciones contra la lluvia radioactiva en los años sesentas y setentas; la capacidad de las comunidades locales y los jóvenes para renovar el discurso antiarmamentista con un discurso centrado en la protección del medio ambiente; la ampliación de la red de actores "antinucleares" en sectores como los adultos, las mujeres, los congresistas, nuevas organizaciones de científicos etc ⁵⁷.

Sin embargo, la negociación de las distintas agencias encargadas de la industria nuclear con la sociedad no logró producir una tecnología convincente.

Tal como ocurre en otras industrias el intercambio de mensajes entre una comunidad tecnológica y el resto de la sociedad es determinante no solo para la popularidad de una tecnología sino fundamentalmente para que ésta sea socialmente viable.

El caso de la industria nuclear demuestra la importancia del estudio de los procesos de comunicación como una de las variables que orientan el rediseñamiento de una tecnología e influyen decisivamente para explicar el rumbo del cambio técnico.

Sin embargo debemos decidir que persisten algunas dudas importantes. Se requiere de un estudio más fino sobre los pequeños ciclos de comunicación entre los diversos actores, para saberlos cuáles resultan más influyentes. También se necesitan estudios específicos sobre el interior y el exterior de la comunidad nuclear para ponderar con mayor exactitud hasta que punto el rediseñamiento fue

⁵⁷ Al respecto resulta muy interesante el capítulo "Civilization or Liberation" del texto de Wearth (1988).

resultado de la presión externa y hasta que punto fue el resultado de las propias tendencias internas.

CAPÍTULO 6

CULTURA MATERIAL Y RENOVACIÓN DEL COMPLEJO INDUSTRIAL

NUCLEAR: 1980-1989.

6. 1.- ¿Cómo surgió el reto tecnológico más caro y duradero de la historia?

La *estabilización*¹ de la basura atómica requerirá de cuando menos 240 000 millones de dólares, setenta y cinco años de trabajo, la actividad de miles de científicos y representará un peligro para decenas de miles de generaciones en el futuro, concluyó el *Informe 2010*. El documento fue elaborado por el Departamento de Energía (DE) y enviado a la Casa Blanca, en 1989. La renovación de la tecnología para manejar los desechos nucleares se había convertido en una de las obras más caras, prolongadas y peligrosas de la historia.²

La envergadura de ese desafío tecnológico y su objetivo de proteger el medio ambiente son sorprendentes. En 1980, apenas nueve años antes, la administración del Presidente Ronald Reagan había establecido metas completamente diferentes, consistentes en producir nuevos tipos de armas nucleares y expandir la generación nuclear de energía eléctrica. Ambos objetivos no tenían nada que ver con el tema de los desechos o la protección del medio ambiente. Por el contrario, la administración Reagan había emprendido una vigorosa *contrarrevolución ambiental* encaminada a destruir los obstáculos que el movimiento ecologista, le había puesto a "la salud de los negocios". Este drástico cambio de objetivos hace surgir una interrogante: ¿ cómo fue que la comunidad nuclear transitó del desprecio por las cuestiones ambientales a las tareas de ese tipo planteadas por el *Proyecto 2010*?

¹ El concepto se utiliza para englobar aquellas tareas necesarias para evitar accidentes graves. Por ejemplo el colapso de tanques donde se almacena basura líquida de alto nivel; explosiones por la mezcla involuntaria de sustancias; descargas masivas en los ríos; dispersión de gases en la atmósfera por corrosión de contenedores, etc.

² Ello a pesar de que el "concepto de estabilización" no incluía, ni la limpieza de todos los sitios afectados por la industria nuclear, ni el empaquetamiento definitivo de los desechos, ni su ubicación permanente en algún lugar (Goslin, 1994).

Para responder a esa pregunta utilizaremos dos categorías: la *tensión esencial* y la *cultura material*. La primera fue formulada por Kuhn (1996). Según él *la tensión esencial provocada por el conflicto entre tradición e innovación es uno de los factores esenciales del cambio técnico.*³ Ambos componentes imprimen una dinámica particular a la ciencia y la tecnología y son producto de la colisión entre dos formas de pensamiento, el convergente y el divergente. El pensamiento convergente requiere de la acumulación de datos e implica continuidad. El divergente implica discontinuidad y desconfía de las categorías formuladas para interpretar los datos precedentes. El enfrentamiento entre los dos tipos de pensamiento puede desplegarse en el ámbito de la ciencia o de la tecnología.

La segunda categoría, la *cultura material*, fue formulada por Rangel (1987), quien la define como la forma en que un grupo social relaciona la materia con determinados usos o valores. Por lo tanto, *es la manera en que una colectividad representa a la materia, para someterla a la voluntad subjetiva.* Consecuentemente su función principal consiste en transformar la materia en material.⁴

En el caso que nos ocupa, la tensión esencial entre tradición e innovación se dio fundamentalmente entre dos corrientes, una era partidaria de preservar las prácticas y las técnicas que la industria nuclear había venido usando para manejar los desechos, mientras la otra era partidaria de renovarlos.⁵

El grupo tradicionalista lo integraron, funcionarios del Departamento de Energía, empresarios, militares y congresistas, vinculados a los negocios

³ (Kuhn, 1996).

⁴ (Rangel, 1987, p. 29)

nucleares. Su objetivo era perpetuar los métodos tradicionales en el manejo de los desechos nucleares. Entre estos métodos destacaban: la generación indiscriminada de desechos; la existencia de un régimen de autorregulación; la aplicación de bajos presupuestos para la investigación básica y aplicada; el uso de depósitos contruidos desde los años cincuenta; el desinterés por el desarrollo de técnicas para separar radiosótopos; la utilización de equipos obsoletos para almacenarlos, los bajos estándares de seguridad y el escaso monitoreo ambiental.⁶

El grupo innovador lo conformaron una minoría de funcionarios del DE, unos cuantos empresarios, varios congresistas y un gran número de científicos independientes, comunidades locales, gobiernos estatales, organizaciones ambientales y tribus indias. Pese a su heterogeneidad, estos sectores demandaron una profunda renovación de los métodos para manejar los desechos consistente en: homologar los estándares de seguridad; abrir las operaciones nucleares a supervisión externa; realizar investigación básica y aplicada sobre los desechos; desarrollar técnicas modernas para manejarlos; separar los distintos tipos de radiosótopos; contruir formas de almacenamiento más sofisticadas; estudiar y remediar su impacto en medio ambiente; y en general, la necesidad de establecer un mayor control social a la industria nuclear.⁷

⁵ Ambas corrientes comenzaron a utilizar términos inconmensurables (Kuhn, 1989).

⁶ Los de alto nivel (cuyo monto actual es cercano a los 380 000 metros cúbicos)⁶, los transuránicos, los de bajo nivel, el combustible quemado (alrededor de 30 000 toneladas métricas en 1996)⁶ y los desechos combinados (mezcla de sustancias radioactivas y tóxicas).

⁷ Por cierto que la lucha por la libertad de información obtuvo importantes victorias en ese período. Por ejemplo en 1986 fueron desclasificadas 20 000 páginas relativas a la Operación Green Run sobre la cual nos hemos referido ampliamente en el capítulo 2 y entre cuyos tenebrosos objetivos se encontraba el dispersar intencionalmente contaminantes para estudiar sus efectos en las comunidades aledañas al complejo industrial de Hanford.

La continuidad o discontinuidad de los métodos usados para manejar la basura durante este período dependió de la correlación de fuerzas entre ambas corrientes. Ambas posiciones existieron, tanto al interior como al exterior de la industria nuclear. Al interior predominó casi completamente la corriente tradicionalista. Al exterior la corriente innovadora tenía la mayoría. El conflicto entre continuistas y renovadores se desarrolló a lo largo de tres etapas a las que hemos denominado la contrarrevolución ambiental (1980- 1983), la crisis (1983- 1987) y la renovación (1987-1989).

6. 2.- La contrarrevolución ambiental y la "salud de los negocios" en la era de Ronald Reagan.

6.2.1 El sabotaje a la legislación ambiental

Desde el inicio de su gestión en enero de 1981, Ronald Reagan alentó numerosos cambios orientados a modernizar el complejo nuclear militar, expandir la industria nuclear civil y burlar la legislación ambiental. Para ello, reactivó la industria nuclear militar mediante contratos multimillonarios. Aplicó una política exterior sumamente agresiva. Defendió la libertad de los negocios y emprendió una profunda *contrarrevolución ambiental*.⁸

⁸ A pesar de que la Guerra Fría suele considerarse como el periodo comprendido entre 1945 y 1989, el hecho es que durante ese lapso varió la magnitud de las tensiones entre EU y la URSS. Durante los años comprendidos entre la Cumbre de Viena de 1979 y la cumbre de Ginebra de 1985 las relaciones antagonicas entre ambas superpotencias volvieron a agudizarse. La tensión llevó a tal extremo que algunos autores consideran que ese período puede considerarse como una Segunda Guerra Fría o en su caso como un período de grave recrudescimiento de la Guerra Fría librada desde 1945. Como ejemplo de lo anterior pueden citarse varios casos: en 1980 el Manifiesto del Partido Republicano "se comprometió a establecer la superioridad militar estadounidense ". Por

El gobierno de Reagan impulsó una nueva expansión de la industria nuclear a través de dos grandes líneas: la modernización de los arsenales nucleares y el crecimiento de la industria nuclear civil. Durante su gestión se construyeron nuevos misiles y submarinos, se impulsó la Iniciativa de Defensa Estratégica y se reabrió una planta de procesamiento de plutonio. Paralelamente se defendió la operación de los ochenta reactores que operaban en Estados Unidos y se impulsó la construcción de otros ochenta reactores.⁹ Esta política aumentó considerablemente el volumen de los desechos. Sin embargo, la investigación y el desarrollo de la tecnología para manejarlos creció a un ritmo mucho menor.

Su administración consideró que dos décadas de activismo ambiental "habían paralizado el crecimiento económico y habían inhibido el desarrollo de los negocios".¹⁰ Esto era así porque "el movimiento ambiental había sido tomado por activistas radicales". Consecuentemente su administración intentó dismantelar la legislación ambiental que había sido aprobada en los años precedentes.¹¹

su parte, Alexander Haig el primer Secretario de Estado de Reagan declaró en los primeros meses de su gestión que se requería de una mayor beligerancia frente al Tercer Mundo y de disponibilidad para intervenir en puntos claves como Cuba, Nicaragua, El Salvador y Libia (Halliday, 1989).

⁹ (Alston, 1997, p. 235)

¹⁰ (Goslin, 1994, p. 34).

¹¹ La administración de Jimmy Carter se había visto obligada a transformar algunas de las prácticas más lesivas de la industria nuclear, debido a que la magnitud del desastre ecológico había provocado grandes movilizaciones sociales. Las medidas no tocaban de raíz el problema de la basura nuclear, pero habían obligado a la industria nuclear a respetar algunas normas mínimas. Por ejemplo, se prohibió la construcción de Proyecto Piloto de Aislamiento de Basura, se le otorgó un papel más protagónico a la Comisión Reguladora Nuclear y Agencia de Protección de Ambiental intervino en diversos asuntos relacionados con la basura combinada.

Para que los hombres de empresas (nucleares), recuperaran la libertad de acción que "habían perdido durante la década anterior"¹² su gobierno tomó medidas como: la jibarización de las instituciones encargadas de proteger el medio ambiente,¹³ el ataque sistemático a dichas instituciones y la evasión de supervisiones externas a la industria nuclear. La contrarrevolución ambiental incluyó también el regreso a una administración independiente para los desechos civiles y militares y la reactivación de proyectos prohibidos durante la administración anterior.

Entre 1980 y 1983, el Departamento de Energía evadió la supervisión externa de las actividades nucleares por diferentes medios. Uno de ellos consistió en argumentar que la Ley Atómica de 1954, había concentrado la supervisión de todas las operaciones relacionadas con los desechos, en manos de la Comisión de Energía Atómica y que sus atribuciones habían sido heredadas por el propio departamento.¹⁴ Esta situación le permitió evadir tanto la legislación ambiental como las recomendaciones de la Agencia de Protección Ambiental (APA) y otras instituciones, lo cual, significó una especie de *fuero nuclear* y permitió la autorregulación sus actividades.

Los ataques a las instituciones encargadas de proteger el medio ambiente fueron constantes. En mayo de 1981 el Senador Robert T. Stafford (rep. republicano por Vermont) cuestionó a Anne Gorsuch, Directora de la Agencia de

¹² Esta situación se dió en el contexto de los enormes costos que tuvo para los países miembros de la Organización Internacional de Comercio y Desarrollo el ascenso de los precios del petróleo provocado por la Revolución en Irán (Gray, 1991, p. 62).

¹³ Bajo la administración de Reagan La APA redujo en un 50% su presupuesto para investigación, en un 23 las becas estatales y un 33 % los presupuestos de operaciones (Durant, 1993).

¹⁴ Como se mencionó en el capítulo 5 durante la década de los setenta la CEA fue reemplazada por dos insituciones el Departamento de Energía y la Comisión Reguladora Nuclear.

Protección Ambiental, sobre la baja moralidad del personal que trabajaba en dicha institución. En esa misma intervención, el Senador afirmó que la APA era una institución en agonía y que su directora iba camino al calvario.¹⁵

Otra medida fue separar la administración de los desechos civiles y los militares. Para ello, se argumentó que éstos últimos involucraban operaciones relacionadas con la seguridad nacional que eran secretas y que no podían sujetarse a supervisión externa. Bajo esa argumentación se autorizó la construcción del Proyecto Piloto de Aislamiento de Basura (PPAB), ubicado en Carlsbad, Nuevo México que había sido prohibido por la administración de Carter.¹⁶ El mismo argumento se empleó para aprobar la Planta Procesadora de Desechos de la Defensa de Savannah River.¹⁷

¹⁵ (Goslin, 1994, p. 34) Al respecto pueden citarse muchos casos. Por ejemplo en 1980 el Departamento de Justicia trató 46 casos contra violadores a la Ley de Responsabilidades, Compensación y Respuesta Ambiental, mientras en 1981 llevó solo 8 (Durant 1993). En febrero de 1983, los legisladores republicanos acusaron, a Rita Lavelle administradora del Programa de Basura Peligrosa de la APA, de "negar sistemáticamente los derechos más elementales de la comunidad de los negocios" (Goslin, 1994, p. 34).

¹⁶ La licencia para la construcción del PPAB, había sido cancelada por la administración de Jimmy Carter debido a que existían innumerables incertidumbres científicas sobre aspectos tan diversos como: las características del sitio donde sería construido; las normas institucionales establecidas para supervisarlos; el tipo de empaquetamiento que se usaría para guardar los desechos; y los riesgos asociados a la transportación de sustancias altamente peligrosas, desde centenares de instalaciones dispersas por todo el territorio estadounidense.

¹⁷ Véase este capítulo infra y extensamente el cap. siguiente.

6.2.2 Algunas de las prácticas tradicionales

Bajo estas condiciones el tratamiento de la basura se desarrolló en la mayoría de los casos con los mismos procedimientos que databan de los años cincuenta. Por citar un caso, en Savannah River el manejo de los desechos de bajo nivel procedentes de las piscinas de enfriamiento se realizó conforme a los procedimientos usados desde 1958.

El combustible irradiado se colocaba provisionalmente en vasijas de enfriamiento mientras decaían los radiosótopos de vidas medias más cortas. Posteriormente el combustible era desmantelado y enviado al área de separación. Como era natural el agua de las vasijas de enfriamiento se contaminaba con estroncio 90, cesio 137 y radio. El agua era enviada a vasijas de filtración y posteriormente era descargada directamente en los mantos acuíferos adyacentes.¹⁸ El uso de este tipo vasijas dispersó alrededor de 24 000 curies anuales en aguas de superficie. Este tipo de prácticas permaneció vigente hasta mediados de la década de los ochenta. Durante ese período no se tomaron muestras de sedimentos ni se colocaron esferas de monitoreo para cuantificar la contaminación de los suelos y el agua.

Otro caso que puede citarse es el de los desechos de bajo nivel originados por el procesamiento de combustible irradiado en las áreas F y H de Savannah River. Entre 1954 y 1988 esta basura fue enviada vasijas filtradores de evaporación

¹⁸ U.S. Department of Energy/Office of Environmental Restoration and Waste Management (1993a)

y posteriormente era descargada directamente en arroyos cercanos. Esta práctica contaminó el agua subterránea con cloro, manganeso, mercurio y radio.¹⁹

Las prácticas obsoletas también se presentaron con los residuos de bajo nivel generados en el área D de la misma instalación. Su composición y estados eran muy variados pues se componían de: papel, madera, escombros, trapos, cartón, aceite, desgrasadores y latas de solventes. Los desechos eran colocados en cajas. En 1973 las cajas fueron cubiertas con tierra. A pesar de que las cajas no aislaban los residuos éstos permanecieron así hasta que en 1989 se cerraron las cajas, se compactaron y se taparon con barro.

La continuación de procedimientos antiguos se practicó también con los desechos transuránicos. Estos se colocaron en tambos de polietileno galvanizado. Cuando los niveles de radiación eran muy altos los tambos se cubrían con concreto. Posteriormente los tambos se enterraban en lugares improvisados. Fue hasta 1985 cuando se consideró que en la mayoría de los casos, los lugares donde se habían enterrado los tambos eran inadecuados y que debería suspenderse la práctica de cubrirlos con tierra, para evitar la contaminación del suelo y facilitar su recuperación en el futuro.

El empleo de técnicas rudimentarias también fue común en el complejo industrial de Oak Ridge. Entre 1951 y 1983 dicha instalación contaminó gravemente las aguas subterráneas y superficiales de los lugares cercanos. Por ejemplo, en 3 áreas aledañas al Depósito de Desechos de Bear Creek Valley, la migración de los

¹⁹ U.S. Department of Energy/Office of Environmental Restoration and Waste Management (1993a),

residuos contaminó los sedimentos del arroyo East Fork Poplar e incluso irradió gravemente a los peces del lugar.²⁰

6.2.3 La Ley Sobre la Política de Desechos Nucleares

El manejo de los desechos en la industria nuclear civil también estuvo sujeto a prácticas tradicionales. Aunque en este caso el forcejeo entre la corriente tradicional e innovadora fue más fuerte, incluso durante la etapa 1980-1983. Por ejemplo, en 1982 el Congreso de los Estados Unidos discutió y aprobó la Ley Sobre la Política de los Desechos Nucleares. Aunque en las prácticas rutinarias la corriente tradicionalista gozó de un predominio casi absoluto, la ley implicó concesiones para las dos corrientes. En términos generales, la ley significó algunos avances importantes de los innovadores aun cuando preservó ciertos privilegios defendidos por los tradicionalistas. *Por ejemplo la ley comprendió exclusivamente los desechos civiles y perpetuó la autoregulación de la industria nuclear militar.*

La ley dividió los desechos nucleares en cinco categorías: bajo nivel, transuránicos, combustible quemado, alto nivel y desechos mineros. Una de sus especificaciones más importantes fue el ordenar la construcción de ocho grandes basureros federales en los que deberían depositarse los distintos tipos de desechos, lo cual implicaría terminar con la práctica de los depósitos *in situ*. La ubicación de los depósitos debería decidirse después de realizar una investigación que debería determinar su ubicación definitiva, en 1990. Otra importante innovación

²⁰ (U.S. Department of Energy/Office of Environmental Restoration and Waste Management, 1993)

fue que dichas instalaciones deberían ajustarse a las normas dictadas por la Agencia de Protección Ambiental y contar con una licencia de la Comisión Reguladora Nuclear.²¹ Asimismo deberían respetar los lineamientos establecidos por la Ley de Política Ambiental de 1969. Adicionalmente, la ley estableció la obligación de construir una planta para empaquetar los desechos que debería instalarse en lugar distinto a aquel en el que se ubicarían los depósitos.²²

A partir de su promulgación la ley obligó a las empresas propietarias y generadoras de basura nuclear a financiar parcialmente, la Fundación de la Basura Nuclear. Dicha institución fue creada para promover la investigación científica, desarrollar tecnología y construir la infraestructura necesaria para el tratamiento, empaquetamiento, transporte, almacenamiento y monitoreo ambiental de los desechos.²³ El financiamiento proporcionado por las empresas obligaba a la fundación a construir los depósitos antes de 1998, para que las empresas pudieran enviar sus desechos.²⁴

La nueva legislación estableció también la obligación de informar a la población²⁵ y garantizar su participación²⁶ en el proceso de planeación. Sin embargo, ésta se limitó prácticamente a la celebración de audiencias públicas con carácter consultivo.²⁷

²¹ (Alston, 1997, p. 236)

²² (Weisman, 1997).

²³ The Nuclear Waste Policy Act of 1982

²⁴ (Whiple, 1996, p.56).

²⁵ The Nuclear Waste Policy Act of 1982

²⁶ (Goslin, 1994 ,p.31)

²⁷ Según Carter, la ley mostró "la insensibilidad del Departamento de Energía [cuya presión fue determinante durante el proceso legislativo] y mostró su falta de disposición para resolver los conflictos

La ley, representó un importante avance de la corriente innovadora porque obligó a las empresas a afrontar parte de su responsabilidad, reconoció la ineficacia del almacenamiento *in situ*, permitió que la APA dictara algunas medidas y reconoció la participación ciudadana.

A pesar de estos avances, la ley también significó un triunfo de la corriente tradicional porque mantuvo la autoregulación de la industria nuclear militar, permitió que se continuaran generando desechos y limitó la participación ciudadana.

En suma, hasta principios de 1983 la corriente tradicionalista mantuvo un predominio casi absoluto en el terreno de los desechos militares y utilizó a la industria nuclear militar para "proteger" las tradiciones de la industria nuclear civil. Además mantuvo vigentes muchas de las prácticas tradicionales y relegó el tema de los desechos a un lugar secundario en relación de la continuación de la carrera armamentista y la generación nuclear de energía eléctrica.

6. 3 La catástrofe que modificó la correlación de fuerzas.

6.3.1 Los problemas técnicos

A partir de 1983 múltiples factores provocaron una crisis en el manejo de los desechos radioactivos. Los problemas que confluyeron para provocarla fueron técnicos, laborales, económicos y sociales.

Los problemas surgidos en el gigantesco complejo industrial de Handford, ilustran muy bien la situación que enfrentaron muchas otras instalaciones. Los

ambientales que alarmaban gravemente a la población. [Por esta razón] intensificó la resistencia de

equipos utilizados para almacenar los desechos mostraron síntomas de deterioro grave. Varios de los 175 gigantescos tanques de almacenamiento para basura radioactiva de alto nivel mostraron fugas o dejaron escapar importantes cantidades de gases inflamables.²⁸ Adicionalmente, en esa y otras instalaciones, el volumen de los desechos rebasó la capacidad de almacenamiento.

6.3.2 La incertidumbre provocó descontento entre los empresarios

Los problemas provocados por el deterioro de los equipos no podían solucionarse debido a que se había practicado una escasa investigación científica y tecnológica sobre los desechos.²⁹ La incertidumbre derivada de la falta de investigación dificultó la selección de los materiales de empaquetamiento, el diseño de instrumentos para registrar la contaminación y la construcción de equipos para brindar seguridad laboral. Este mismo problema, hizo muy difícil determinar aspectos como: las características específicas que deberían reunir los lugares donde se depositarían los desechos y el diseño de procedimientos y operaciones menos contaminantes. Incluso aspectos tan elementales, como la necesidad de un inventario completo y confiable del tipo de desechos almacenados en cada lugar, resultó una empresa tecnológica sumamente complicada.³⁰

los estados a hospedar los basureros

²⁸ (Zorpette, 96).

²⁹ (Betancourt, 1995)

³⁰ Problemas similares se presentaron también en Handford, Washington, Oak Ridge, Tennessee, Savannah River, Carolina del Sur, Waste Isolation Pilot Project, Texas y Yucca Mountain, Nevada.

El desconocimiento sobre las características de los desechos propició inconformidad y protestas entre los propios empresarios que aparentemente se habían beneficiado por el "fuero nuclear". Numerosas empresas cuestionaron al DE por no saber con exactitud, qué tipo de problemas debería enfrentar, y por lo tanto, por desconocer qué tipo de empresas necesitaría contratar, para resolverlos. La incertidumbre -se quejaban los empresarios- auspició incertidumbre e inseguridad en las inversiones destinadas a investigación básica y aplicada, diseño y adquisición de equipo y formación de personal calificado.

Al describir esta situación, Thomas P. Grumbly, miembro del Programa de Mantenimiento Ambiental del DE afirmó:

"si el gobierno quiere descontaminar un edificio, debe saber cuáles son los contaminantes principales, cuáles son los contaminantes secundarios, en qué concentraciones se encuentran, si no sabe cuáles son, tampoco va a saber, a quién debe contratar y no podrá garantizar un negocio seguro"³¹.

6.3.3 La inconformidad de los trabajadores

En estas condiciones, las protestas de los trabajadores por la inseguridad existente en las distintas operaciones de la industria nuclear tendieron a multiplicarse. Diversas instalaciones utilizadas para almacenar los desechos

³¹ (Zorpette, 96, p. 78).

radioactivos, eran obsoletas porque habían sido diseñadas para vidas útiles muy cortas. La corrosión provocó fugas y dispersó contaminantes, lo cual afectó la salud de los trabajadores.

La falta de seguridad provocó una creciente erosión de los mecanismos de control sindical. Como ha señalado Berger (1977)

"todos los pasos del ciclo industrial nuclear dependen de la condescendencia, sino es que de la complicidad de los líderes sindicales, en la transportación, el empaquetamiento, la construcción y el uso de ferrocarriles"³² [necesarios para las operaciones atómicas]

Sin embargo, la frecuencia de los accidentes y el descubrimiento de que la industria nuclear había escamoteado información sobre riesgos laborales, provocó enérgicas protestas laborales y cuestionamientos al sindicalismo oficial. La presión de los trabajadores, obligó a los sindicatos "blancos" a demandar medidas para garantizar su seguridad. Por esta razón, a partir de 1983, los sindicatos demandaron indemnizaciones para los trabajadores afectados, una normatividad más estricta y el diseño de instrumentos capaces de volver un poco más seguras las operaciones nucleares.

Paralelamente, varios estados establecieron normas de seguridad para el manejo de la basura en la legislación local que constituyeron un obstáculo para la aprobación de plantas civiles y condicionaron el otorgamiento de licencias para la

³² (Makhijani, 1995 p. 346)

construcción de depósitos a que se resolvieran algunas de las incertidumbres técnicas en relación con los desechos. Estas circunstancias elevaron los costos de operación y presionaron a las empresas nucleares a apresurar la búsqueda de un lugar donde pudieran depositar su basura.

Mientras tanto, el amplio movimiento social de oposición a la industria nuclear, que desde el final de la década de los setenta era "el movimiento social más poderoso, mejor organizado y mejor informado"³³ en la historia reciente de los Estados Unidos, logró una relevante elevación cualitativa de sus luchas, al iniciar la década de los ochenta. En primer lugar, transformó su imagen de movimiento opositor, antimilitarista y antinuclear, por la de un movimiento propositivo, defensor de la paz y del medio ambiente. En segundo lugar, se presentó ante el conjunto de la sociedad como un creativo promotor de formas más seguras, baratas y sustentables de obtener energía.

6.3.4 Accidentes y descontento popular

La perpetuación de las prácticas tradicionales ocasionó numerosos accidentes.³⁴ Estos últimos provocaron numerosos perjuicios a la salud y el medio ambiente, sensibilizaron a la opinión pública y motivaron vastas movilizaciones

³³ (Makhijani 1995 p. 327)

³⁴ Por ejemplo, un accidente ocurrido en Oak Ridge descargó cuando menos 340 000 kilogramos de mercurio, en el suelo y las aguas de Tennessee según un estudio realizado en 1985 (Makhijani, 1995 p. 228).

sociales.³⁵ Además atrajeron hacia la corriente innovadora a diversos sectores que habían permanecido al margen hasta ese momento. De este modo un número cada vez mayor de comunicadores sociales, organizaciones científicas y funcionarios de instituciones como la Comisión Reguladora Nuclear, la Agencia de Protección Ambiental y el Consejo para la Protección de los Recursos Naturales se sumaron al sector innovador.

Conforme creció el movimiento ambiental sus demandas se convirtieron en asunto electoral. Los ciudadanos aumentaron la presión sobre sus Diputados y Senadores y los obligaron a exigirle mayores estándares de seguridad a la industria nuclear. Des este modo, poco a poco, comenzó a crecer un moderado pero persistente sector de representantes dispuestos a enfrentarse al DE.

Mientras tanto, en el terreno económico también se presentó una situación desfavorable para los tradicionalistas. El presupuesto del DE resultó cada vez más insuficiente para atender aspectos como: la investigación científica y aplicada, el mantenimiento de equipos, la construcción de depósitos, la limpieza y la rehabilitación de sitios inactivos. Al mismo tiempo, las numerosas fallas en el empaquetamiento y la transportación, junto con la falta de información al público, evidenciaron que el modelo tecnológico defendido por los tradicionalista (casi literalmente) se agrietaba por todos lados.

En suma, el esquema sostenido por los tradicionalistas complicó el manejo de los desechos, provocó numerosos accidentes y puso a la opinión pública en pie de guerra. Desde finales de la década de los setentas la presión pública sobre la

³⁵ (U.S. Department of Energy/Office of Environmental Management, 1995).

industria nuclear había sido muy intensa, según Berger (1977): "Los ciudadanos están presionando a la industria nuclear en todos los frentes; en la selección de lugares, en las audiencias públicas, en las cortes, en el Congreso, en las legislaturas estatales, en cada condado en todos los niveles del gobierno."³⁶ Para 1983 esta situación había llegado al climax.³⁷

³⁶ (Berger, 1977.p. 345)

³⁷ En esta fecha la popularidad de Ronald Regan cayó al nivel más bajo de sus dos períodos. Solo un 35% de los norteamericanos apoyaban su gestión (Ostrom, 1992).

6. 4.- ¿Cómo fue que la industria nuclear "quedó unida al resto del mundo"?

6.4.1 La discusión sobre los *desechos combinados*.

A partir de la crisis, los tradicionalistas comenzaron a perder terreno. En mayo de 1983 el DE reconoció que la planta Y-12 de Oak Ridge había descargado en el ambiente dos millones de libras de mercurio, entre 1950 y 1977³⁸. Dicha declaración hizo patente que varios millones de personas habían sido expuestas a riesgos graves. Esta situación suscitó una fuerte polémica entre el Departamento de Energía y la Agencia de Protección Ambiental sobre cual era la ley bajo la cual deberían regirse los *desechos combinados* (mezcla de desechos radioactivos y tóxicos). El asunto se convirtió en una bola de nieve.

En los meses siguientes, el Consejo de Defensa de los Recursos Naturales (CDRN) y la Fundación de Asesoría Ambiental (FAA) advirtieron públicamente que los *desechos combinados* representaban un importante riesgo para la salud pública. Bajo esta consideración exigieron fincar responsabilidades por los daños que las descargas habían provocado en el medio ambiente, en base a la Ley de Recuperación y Conservación de Recursos de 1976. Dicha ley establece una serie de procedimientos técnicos, supervisiones inter-institucionales, normas de operación y montos de indemnizaciones en accidentes relacionados con sustancias peligrosas.

³⁸ Goslin, F.G: Closing the Circle: The Department of Energy and Environmental Management 1942-1994 ... p 36.

Por su parte, el Departamento de Energía contraatacó argumentando que los desechos dispersados en Oak Ridge, contenían sustancias radioactivas, y por lo tanto deberían manejarse de acuerdo a la Ley de Energía Atómica de 1954. Bajo este criterio, la regulación, la supervisión y el cuidado ambiental relacionado con las sustancias radioactivas recaía exclusivamente en Comisión de Energía Atómica (CEA) y en este caso en el Departamento de Energía y la Comisión Reguladora Nuclear que eran las dos instituciones que habían heredado las responsabilidades de la CEA. En respuesta, el Consejo de Defensa de los Recursos Naturales demandó en una corte federal al Departamento de Energía. Poco después volvieron a presentarse nuevas polémicas en relación a los desechos combinados cuando el DE reconoció que se habían dispersado grandes cantidades de ese tipo de basura también en Handford y Savannah River.³⁹

La discusión sobre los desechos combinados era relevante porque existían alrededor de 500 000 tons. métricas de ese tipo de basura dispersos en prácticamente todas las instalaciones nucleares.⁴⁰

6.4.2 La posición del Congreso en el conflicto.

El volumen de los desechos, el rechazo del DE a asumir sus responsabilidades, la coordinación entre los movimientos ambientales y locales, y los conflictos entre el DE y otras instituciones resultaron una combinación política

³⁹ Ver anexo 9

⁴⁰ Goslin, F.G. Closing the Circle: The Department of Energy and Environmental Management 1942-1994 ... p. 36

verdaderamente explosiva. Ante esa situación el Congreso de los Estados Unidos se vió forzado a intervenir en el asunto.

Ostensiblemente preocupado por los diversos problemas relacionados con los desechos, el Congreso abordó el tema de los *desechos sólidos de alto nivel* y los *desechos combinados*. En relación al primero, el Congreso aprobó una ley denominada Ley de Desechos Sólidos Peligrosos bajo la cual exigió elevar los parámetros de calidad para el manejo de los desechos radioactivos. La ley elevó los niveles de seguridad, estableció la obligación de mejorar el monitoreo ambiental y asignó nuevas responsabilidades al DE y a las empresas del complejo nuclear.

En relación con los desechos combinados el Congreso discutió cuál de las dos leyes, la Ley de Recuperación y Conservación de los Recursos Naturales o la Ley de Energía Nuclear deberían regir su manejo.

Presionado por el debate parlamentario el DE llegó a un acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental (APA) en agosto de 1984. Los desechos peligrosos generados por el complejo nuclear militar se sujetarían a la Ley de Recuperación y Conservación de Recursos, en aquellos casos en los que no estuvieran involucrados asuntos relacionados con la seguridad nacional. El acuerdo estableció también que los depósitos de desechos deberían ser supervisados por la APA y solicitar un permiso para entrar en operaciones.

Sin embargo, poco tiempo después el DE no respetó el acuerdo y se rehusó a recibir una supervisión externa. Para septiembre de 1984, solo cinco, de varios cientos de depósitos locales habían recibido el permiso correspondiente.

Ante esta situación el Congreso decidió presionar al Departamento de Energía mediante una enmienda a la Ley de los Desechos Sólidos Peligrosos. El

corazón del agregado estableció una nueva clasificación de los desechos (en cinco grupos),⁴¹ instauró normas más exigentes para el manejo de depósitos y estableció fechas límite para que el DE aceptara una evaluación de sus instalaciones a cargo de la Agencia de Protección Ambiental.

Pese al ultimátum, el DE persistió en su actitud y evadió las obligaciones establecidas por la enmienda. El diputado Mike Synar (rep/Oklahoma) acusó al DE de "invertir más tiempo en evitar la legislación ambiental que en poner remedio a la situación".⁴² Por su parte, la Agencia de Protección Ambiental calificó de "acciones criminales" las recusaciones del DE.⁴³

Este tipo de conflictos interinstitucionales persistió durante dos años más. Sin embargo, pese a la renuencia del DE a someterse a la ley, para 1986, las críticas y las acciones legales en su contra, obligaron al gobierno estadounidense a realizar una serie de cambios en el Departamento de Energía. Una de las primeras medidas fue nombrar John Herrington como el nuevo titular del Departamento de Energía. La trayectoria del funcionario no implicaba nada en si misma, pero en función del contexto, Herrington se vió obligado desde el principio de su administración a considerar, la protección del medio ambiente una prioridad "de alto

⁴¹ La nueva clasificación dividió los desechos en de alto nivel, transuránica, combustible quemado, de bajo nivel y desechos mineros.

⁴² Inside Energy de marzo 3 de 1986, se publicó un artículo llamado: Synar hits DOE'S Performance in Handling Mixed Waste.

⁴³ Como ejemplo mencionó el rechazo del DE a que la agencia tomara muestras de agua subterránea en los mantos acuíferos cercanos a Handford y sobre los cuales se habían descargado "accidentalmente" miles de toneladas de basura líquida.

nivel"⁴⁴. Bajo esta nueva dinámica, Herrington creó la Oficina de Salud y Seguridad Ambiental designando a Mary Walker como su directora.

6.4.3 El accidente de Chernobyl.

En abril de 1987 un terrible accidente ocurrido al otro lado del mundo agudizó el conflicto entre tradicionalistas e innovadores. A las 9 de la mañana del lunes 28 de abril de 1987, los medidores de radiación ubicados en las afueras del reactor sueco de Forsmark indicaron una lectura de la radiación 400 veces mayor a la normal. Doce horas más tarde, la televisión rusa informó que dos días antes había ocurrido un accidente, en el reactor de Chernobyl, ubicado en las inmediaciones de la ciudad de Pripyat, Ucrania, a 130 km. de la ciudad de Kiev.

Sólo tiempo después pudo reconstruirse lo que había sucedido. El 26 de abril habían estallado dos terribles explosiones en el corazón de un reactor moderado con grafito, iniciando lo que se convertiría en el peor accidente de la industria nuclear comercial. Ambas detonaciones provocaron un enorme incendio cuya magnitud requirió de la intervención de numerosos helicópteros para arrojar desde el aire 5000 toneladas de arena. Durante los diez días siguientes los bomberos libraron heroicos combates contra el fuego, durante los cuales 10 de ellos perdieron la vida.⁴⁵

⁴⁴ US Department of Energy, Office of Environmental Restoration and Waste Management, Office of Technology Development a National Program Oak Ridge, 1994 (Revision 1).

⁴⁵ (May, 1989, p. 280-292).

La basura dispersa por el accidente afectó un área de más de 1000 kilómetros cuadrados y constituyó una amenaza de muerte en 500 zonas residenciales de la República de Ucrania.⁴⁶ Para contener los devastadores efectos de la contaminación, fue necesario construir un sarcófago que envolvió los restos del reactor. Su fabricación requirió de 7 000 toneladas de acero y 410 m³ de concreto y concluyó hasta el mes de noviembre. El accidente provocó lecturas inusuales de radiación y grave contaminación en lugares tan distantes como Arabia, la península Escandinava y Estados Unidos. Ocasiónó daños en puntos tan lejanos como Europa del Este, Siberia y el Reino Unido.

La basura generada por el accidente industrial más costoso de la historia tuvo enormes consecuencias. Aunque es difícil evaluar la magnitud de los daños que provocó se tienen muchos datos sobre algunos de sus efectos: Contaminó a las abejas polacas. Provocó la caída de 1 kilogramo de cesio en territorio noruego. Contaminó 20 000 blanquillos en Hamburgo (con los cuales se alimentaban los huérfanos de esa ciudad). Expuso a riesgos extraordinarios, a los trabajadores involucrados en las labores de rescate. Depositó radioisótopos peligrosos en Suecia. Costó más de ocho mil millones de rublos en operaciones destinadas a disminuir la contaminación. Y finalmente afectó gravemente a un número indeterminado de niños y ancianos de los lugares aledaños.

El accidente también tuvo otro tipo de repercusiones.⁴⁷ Provocó una creciente desconfianza hacia la industria nuclear que con el paso del tiempo puso

⁴⁶ Ibid.

⁴⁷ Vid. (Wearth, 1987).

fin a una larga etapa de expansión de la industria nuclear civil en todo el mundo. Al producirse la tragedia existían en el mundo 394 reactores con una capacidad para generar 260 000 megawatts de energía eléctrica. Al mismo tiempo se construían 160 reactores que añadirían 140 000 megawatts a la capacidad instalada. Sin embargo, diez años más tarde, existen nada más 434 reactores en operación y solamente serán construidos otros 34 nuevos reactores en los próximos treinta años"⁴⁸ de los cuales la mayoría se ubicarán en países en vías de desarrollo.

6. 5.- El establecimiento de parámetros ambientales en la industria nuclear y el nacimiento de un desafío tecnológico milenario

6.5.1 El impacto de Chernobyl en el manejo de los desechos

La tragedia de Chernobyl despertó un profundo interés de la sociedad norteamericana sobre el manejo de los desechos y alteró la correlación de fuerzas en favor de los innovadores. El Congreso solicitó al Consejo de Investigación Científica de la Academia Nacional de Ciencias que realizara una investigación sobre los riesgos provocados por los desechos de la industria nuclear civil, a la luz de lo ocurrido en Ucrania.

En mayo de 1987, un mes después del accidente, la presión social era tan intensa que obligó al DE a cejar en su intento de evadir la Ley de Recuperación y Conservación de Recursos. El DE aceptó someter los *desechos combinados* a las normas establecidas por la ley. A partir de ese momento el DE regularía los

⁴⁸ (Flavin, 1996, p. 52).

radionucleidos y la Agencia de Protección Ambiental y/o los estados de la federación el resto de los componentes peligrosos de ese tipo de basura. Según Leo Duffy, primer asistente de la Oficina de Administración de la Basura y la Restauración Ambiental (ABRA), "el 1° de mayo de 1987 fue el día en que el Departamento de Energía quedó unido al resto del mundo".⁴⁹

6.5.2 La renovación del complejo nuclear militar

El 29 de octubre de 1987 el Consejo Nacional de Investigación de la Academia Nacional de Ciencias CNI-ANC presentó el informe de su investigación sobre la seguridad de la industria nuclear estadounidense. El documento sugirió tantas transformaciones que Joseph Salgado, Subsecretario del DE lo evaluó diciendo que implicaba tantas transformaciones del complejo nuclear que de hecho marcaba el inicio de un período de transición a nuevos parámetros productivos.

Tras varios meses de estudiar el asunto, Joseph Salgado, anunció una serie de importantes innovaciones en relación al tratamiento y el depósito de desechos. Entre ellas, señaló que: el DE aceptaría supervisiones externas e iniciaría un programa de limpieza en las instalaciones nucleares, cuyo costo oscilaría entre dos mil y doce mil millones dólares.

Sin embargo, cuando el Congreso revisó los objetivos y los métodos propuestos por el DE advirtió que era necesario precisar sus objetivos, reducir los plazos e invertir más dinero. En este contexto Joseph Salgado presentó

⁴⁹ Goslin op. cit. p. 39

consecutivamente diversos planes, que fueron consecutivamente rechazados por el Congreso.⁵⁰

A principios de 1988, la discusión de los diversos proyectos había dejado en claro que el DE debería renovar integralmente su tecnología, minimizar sus operaciones peligrosas, reducir la generación de desechos, tratar más eficazmente los desechos y resolver el problema de su depósito. Sin embargo faltaba lo más importante, resolver ¿cómo debería realizarse esa renovación?. Joseph Salgado fue el encargado de planificar la transición que el DE requería para adecuarse a los nuevos parámetros de calidad ambiental exigidos por el Consejo Nacional de Investigación, el Congreso, el movimiento ambiental y la ciudadanía.

Poco más tarde se presentaron dos nuevos planes para limpiar el complejo nuclear. Uno de ellos fue elaborado por el Senador John Gleen. El otro por el Subsecretario del DE Joseph Salgado. El primero planteó la necesidad invertir de entre 66 mil millones y 110 mil millones de dólares. La primera cifra permitiría una limpieza superficial que podría concluirse en el año 2025, la segunda una limpieza un poco más completa que concluiría en el año 2045.

Sin embargo al estudiar más detalladamente el caso, el Senador Gleen afirmó que se requerirían cuando menos 220 mil millones de dólares para llevar a cabo una limpieza mínima. Mientras tanto un tercer estudio, realizado por la Oficina General de Contabilidad estableció la cifra, entre los 100 y los 130 mil millones de dólares.

⁵⁰ El Senador John Glen, encabezó la postura que los consideraba insuficientes y declaró "me parece muy mala idea construir arsenales nucleares para defendernos de la Unión Soviética ... si envenenamos a nuestra gente para lograr ese objetivo" (Goslin, 1995, p. 47).

6.5.3 Nuevos accidentes vuelven a cambiar la correlación de fuerzas

El alto costo de la renovación fortaleció temporalmente a la postura tradicional. Pero unos meses más tarde, en agosto de 1988 se presentaron dos nuevos accidentes que reactivaron la jornada de movilizaciones contra la industria nuclear y modificaron la correlación de fuerzas en favor de la corriente innovadora.

El primero de ellos fue una inesperada sobrecarga del reactor P de Savannah River, Carolina del Sur. Aunque al parecer el incidente no causó mayores consecuencias, la investigación sobre el incidente, aumentó el descontento en el Congreso. Un diputado afirmó que el aislamiento de la industria nuclear, la había mantenido al margen de los cambios en materia de seguridad y protección ambiental ocurridos en el resto del mundo.

El otro accidente ocurrió el 29 de septiembre de 1988 cuando un inspector y dos trabajadores de Rocky Flats inhalaban partículas radioactivas porque caminaron sobre una zona sumamente contaminada debido a que las señales de peligro se habían caído al piso. El incidente ameritó una investigación del FBI y la Contraloría cuyos resultados revelaron que en dicha instalación se violaban casi permanentemente los estándares de seguridad. Esta situación movilizó a millares de jóvenes y obligó a varios funcionarios del DE a realizar una inspección *in situ*.⁵¹

⁵¹ May, John, ... p. 304.

El suceso, motivó que la prensa "se declarara en pie de guerra contra el complejo nuclear". De hecho como consecuencia de la intensa presión pública desatada desde entonces, el DE decidió crear la Oficina de Mantenimiento Ambiental.⁵²

Poco más tarde, en septiembre de 1989 el DE anunció su aprobación a la realización de supervisiones externas de sus instalaciones y su disposición a otorgar un presupuesto para llevarlas a cabo. Sin embargo, a pesar de haber sufrido numerosas derrotas consecutivas, la corriente tradicional -encabezada por los militares- continuó ofreciendo resistencia a los cambios y presionó al DE para impedir que ciertas instalaciones - entre ellas Pantex, Texas el complejo industrial donde se ensamblan y desensamblan las cargas nucleares-⁵³ fueran incluidas en la lista de lugares que serían sometidos a supervisiones externas de las instalaciones.

En diciembre de 1989 el DE concluyó un estudio sobre las tareas y los gastos necesarios para efectuar la limpieza del complejo nuclear militar. El documento denominado *Informe 2010* fue enviado a la Casa Blanca. El texto planteó la necesidad de invertir 244 mil millones de dólares en los siguientes 20 años para emprender un amplio programa de *estabilización* de la basura atómica. Sus metas incluyeron diversos programas relacionados con los desechos: construcción de

⁵² Respecto a la Oficina consultese el capítulo 8 de esta obra. En 1996 dicha instancia recibió 6 mil millones de los 16 mil millones de dólares del presupuesto total recibido por el DE en 1996 (Glenn Zorpette, "Hanford's Nuclear Wasteland"... p. 74).

⁵³ Sin embargo un estudio realizado por el DE durante ese año reveló que la instalación era el lugar con mayor peligro de contaminación química, pues de 1954 a 1980 era muy probable que se hubiera dado la contaminación de mantos acuíferos con sustancias como acetona, metanol, y etanol. Citado en Makhijani, Hu y Yih (editores), Nuclear Wastelands. A Global Guide to Nuclear Weapons Production and Its Health and Environmental Effects,... p 238.

nuevas plantas procesadoras, edificación de instalaciones para separación de radiosótopos peligrosos y empaquetamiento, acciones de remedio en suelos y aguas, suspensión de la producción de materiales en Handford y cierre definitivo de Rocky Flats, Fernald y Mound Plant.⁵⁴ Además, el informe propuso emprender acciones para rehabilitar una larga lista de lugares contaminados, realizar supervisiones externas a las instalaciones nucleares, monitorear el medio ambiente, apoyar financieramente la investigación básica y aplicada y desarrollar técnicas para garantizar la seguridad laboral.

En enero de 1989 al asumir George Bush la Presidencia de los Estados Unidos nombró como nuevo Secretario del Departamento de Energía al Almirante James Watkins y este se comprometió a seguir los lineamientos del *Informe 2010*. El documento significó el triunfo más importante de la corriente innovadora a lo largo de toda la década. El *Informe 2010* estableció el desafío tecnológico más costoso del siglo XX. Los innovadores habían logrado un importante triunfo. El informe fue el germen de una profunda renovación del complejo nuclear que se describe ampliamente en el capítulo siguiente. Pero la batalla todavía no terminaba.

⁵⁴ Goslin, *Closing the Circle...* p. 53

6. 6.- ¿Alguien sabe por cuánto tiempo será peligrosa esta instalación nuclear?.

6.6.1 Los planes para construir depósitos federales.

La construcción de depósitos federales para concentrar los diversos tipos de desechos ocupó un lugar muy importante en la negociación sobre la renovación del complejo nuclear militar y de la industria nuclear civil. La discusión sobre su diseño ocupó un lugar particularmente importante. El proceso mediante el cual se planearon los depósitos significó una *solución negociada*, al conflicto entre la vieja y la nueva cultura material relativa a los desechos.

A partir de las obligaciones estipuladas en la Ley Sobre la Política de los Desechos Nucleares, el DE proyectó la construcción de un depósito en Handford, Washington, para los desechos de alto nivel; otro depósito en Carlsbad, Nuevo México (el Proyecto Piloto de Aislamiento de Basura), para los *desechos transuránicos*; uno más en Yucca Mountain, Nevada, para el *combustible quemado* y los *desechos de alto nivel*; y finalmente un depósito en Sierra Blanca, Texas, para los *desechos de bajo nivel*. Como requisito su construcción debería ser precedida por un riguroso estudio que estableciera si los lugares seleccionados reunían las características geológicas, económicas y sociológicas adecuadas.

6.6.2 La polémica sobre Hanford.

Tanto la limpieza de Hanford como su adaptación para servir como basurero federal provocaron una larga lista de problemas técnicos, económicos, legales y políticos. Hanford ha producido 450 mil galones de basura líquida. La mayor parte de ellos corresponde a basura líquida de bajo nivel. La basura líquida de alto nivel se encuentra en 177 tanques.

Las tareas de limpieza resultaron un desafío de gran magnitud debido a la complejidad los daños ocasionados por las descargas rutinarias y accidentales así como por las dificultades para habilitar el sitio como depósito permanente. Esta situación convirtió la estabilización de los desechos, en la obra de ingeniería civil más importante de la historia, por su monto económico, su duración y sus retos tecnológicos. Los lugares contaminados por sus operaciones eran más de 1400. El volumen del agua afectada por dicha instalación ascendía a 1.3 mil millones de metros cúbicos de agua del Río Columbia. El costo de dichas operaciones se estableció en cuando menos mil millones de dólares anuales, durante las siguientes cuatro décadas.⁵⁵

Además algunos de los problemas técnicos más importantes y más difíciles de resolver, planteados desde entonces y cuya resolución continua pendiente hasta nuestros días, razón por lo cual nos referiremos a ellos en tiempo presente, aunque

⁵⁵ El complejo industrial de Hanford ocupa una superficie de 1450 km². La basura sólida de alto nivel proveniente de los reactores es trasladada en tren hacia túneles de almacenamiento. En otros casos se coloca en trincheras utilizadas para separar la basura de bajo nivel con el objetivo de disminuir su volumen antes de ser depositada en los túneles (Northwest National Laboratory, 1996). La basura líquida de bajo nivel es colocada en tanques de evaporación donde se evaporan algunos de los radioisótopos de vidas medias más cortas.

el diagnóstico comenzó a hacerse a finales de los ochentas: la limpieza de aguas subterráneas; la estabilización de 177 viejos tanques donde se almacena basura líquida. Su contenido exacto se desconoce y será muy difícil de determinar en 67 de ellos.⁵⁶ Adicionalmente en otros 54 tanques frecuentemente se presentan fugas de gases explosivos.⁵⁷ Por otra parte, el desmantelamiento de cinco gigantescos reactores (con un peso de 15 000 toneladas cada uno y con dosis de radiación de más de 100 millones de curies en total) representa un problema muy difícil de resolver. La recuperación de varias toneladas de plutonio disperso en los suelos, equipos y aguas del lugar tampoco resultaba sumamente complicada. Finalmente la estabilización de 2 100 toneladas de *combustible quemado* también implica retos importantes.

El caso de los tanques era y continúa siendo uno de los más difíciles de resolver. De los 177 tanques donde se almacenaba la basura líquida de alto nivel 149 tanques son de una sola esfera y 28 tanques son más modernos y de doble esfera. De los 149 tanques de una sola esfera 67 presentan fugas, 18 contienen ferrocianuros, 18 contienen sustancias altamente inflamables y 20 más contienen compuestos orgánicos que podrían provocar reacciones explosivas. Las fugas han sido estimadas entre 2 300 000 y 3 400 000 litros.⁵⁸

⁵⁶ De hecho otro problema consiste en que al desconocerse que sustancias almacenan no se sabe que ley deberá aplicárseles, además de que en muchos casos las sustancias en cada uno de los tanques varía en sus diferentes zonas interiores.

⁵⁷ El Programa de Caracterización de Tanques ha gastado 260 millones dólares de 1989 a la fecha y requerirá de cuando menos otros diez años para determinar parcialmente el contenido exacto de los mismos.

⁵⁸ (Northwest National Laboratory, 1996)

Para muchos de estos problemas no existían soluciones técnicas en 1989 e incluso en nuestro días los científicos coinciden en que será poco probable encontrarlas en el mediano plazo. Por ejemplo, el volumen de las aguas subterráneas contaminadas con tritio y nitratos equivale a un lago subterráneo formado por más de 250 kilómetros cuadrados, sin que exista aún, ningún procedimiento para separar el tritio del agua.⁵⁹

La existencia de una tonelada y media de plutonio dispersa en la zona, podría provocar una *explosión nuclear espontánea* en caso de que se reuniera accidentalmente una masa crítica de 11 kilogramos.⁶⁰ El peligro provocado por esa situación provocó numerosas protestas de los trabajadores del lugar. Por otra parte, los empresarios consideraron inseguro invertir en tecnología de limpieza, ante la ausencia de planes firmes. Finalmente los vecinos se quejaron de los peligros a los que estaban expuestos sus hijos.

⁵⁹ Los problemas económicos tampoco fueron resueltos fácilmente y muchos de ellos persisten en nuestros días. De un total estimado por el Departamento de Energía entre 230 000 y 375 mil millones dólares para estabilizar el conjunto de la basura atómica, Handford consumirá -junto con otras cinco plantas- el 70% de los gastos. Sin embargo, "no existe dinero suficiente en el mundo para dejar a Handford como estaba [antes del Proyecto Manhattan]" según Michael V. Berriochoa, quien es representante de la compañía Westinghouse. Los problemas políticos también provocaron serios dolores de cabeza a los funcionarios del DE. La ley aprobada en 1987 obligó al DE a cumplir con la legislación ambiental aprobada por los estados, lo cual, generó un conflicto entre las autoridades federales y las estatales. Por otra parte, los numerosos perjuicios ocasionados por ese obsoleto centro industrial generaron numerosas críticas en la prensa. (Zorpette, p. 78)

⁶⁰ (Zorpette p. 76)

6.6.3 La batalla por Yucca Mountain.

El depósito de Yucca Mountain también generó innumerables conflictos. La instalación fue diseñada para almacenar una parte importante del total del combustible quemado generado por la industria nuclear civil y militar. La necesidad de un depósito de ese tipo era indudable pues la mayoría de los desechos existentes en 1989 se encontraban almacenados en las piscinas de 60 plantas nucleares, donde continúan hasta nuestros días. En dichos sitios existen condiciones de seguridad solamente en el corto plazo debido a que fueron diseñados para vidas útiles muy cortas.⁶¹

Según los tradicionalistas Yucca Mountain resolvería el problema del *combustible quemado* gracias a su eficiente diseño. La instalación sería dotada con varias cámaras subterráneas ubicadas a 300 metros debajo de la superficie de una montaña y alrededor de 370 metros arriba de los mantos acuáticos subterráneos existentes en dicho lugar. En ellas se almacenarían cerca de 70 000 toneladas de *combustible quemado* de las cuales el 90% provendría de la generación de energía eléctrica y el 10% restante de la industria militar. Además contaría con infraestructura para monitorear la basura durante por lo menos cincuenta años.⁶² Sin embargo, según los innovadores, el proyecto estaba plagado de ineficiencias,

⁶¹ (U.S. Department of Energy, Yucca Mountain Characterization Project,, p.11)

⁶² Entre otros estudios realizados para garantizar la confiabilidad de la instalación se encuentran las siguientes: la máquina excavadora de túnel tomó muestras del suelo mientras perforó el túnel principal, para estudiar las características del suelo. Se han realizado pruebas neumáticas para detallar el comportamiento de gases y líquidos. Además se ha realizado un mapa de fallas geológicas y varios estudios vulcanológicos (US Department of Energy, Office of Civilian Radioactive Waste Management, 1996).

por ejemplo, dispondría de una capacidad de almacenamiento para la mayoría, pero no para el total de los desechos de ese tipo y ello sólo en caso de que no se construyeran nuevos reactores nucleares.

De hecho desde sus orígenes el proyecto de basurero "[estuvo] en el centro del debate sobre los desechos nucleares".⁶³ Los temas de la polémica han sido numerosos. Su construcción como depósito permanente o como almacén temporal⁶⁴ fue uno de ellos. La previsión de los numerosos accidentes posibles también ha representado un problema. Uno de los accidentes más probables es que la corrosión de los materiales que se empleen para el encapsulamiento (acero, una aleación o diversos tipos de cerámicas) podría contaminar gravemente los mantos acuíferos subterráneos que son utilizados para el consumo humano. Ante esta posible eventualidad algunos tecnólogos sugirieron la conveniencia de que Yucca Mountain fuera un *almacén* (provisional) y no un *depósito* (permanente). Ello implicaría dotar la instalación con equipo para recuperar las cápsulas, en caso de que se presentaran escurrimientos. Si esa fuera la situación afirmaron algunos tecnólogos, las sustancias tardarían varios años en llegar hasta los mantos subterráneos, por lo cual, habría tiempo suficiente para recuperar la basura.

Otro de los temas del debate fue la posibilidad de que el agua de lluvia (alrededor 16 centímetros anuales) se filtrara a través del suelo y llegara hasta las cámaras de almacenamiento en cuyo caso provocaría una rápida erosión de las cápsulas contenedoras. Este escenario desató un debate en 1989 respecto a

geológicas y varios estudios vulcanológicos (US Department of Energy, Office of Civilian Radioactive Waste Management, 1996).

⁶³ Hooly Idelson, "Energy. Panel Acts on Waste Dump. But Bill's Future Doubtful", Government & Commerce, semptember 14, 1991p. 2613.

⁶⁴ (Whiple, 1996, p.56).

tiempo que tardaría el agua en llegar hasta el depósito. Los climatólogos discutieron sobre la posibilidad de que un eventual cambio climático aumentara el nivel de precipitación anual. Los geólogos, por su parte, discutieron si las formaciones de calcio carbonado existentes en el lugar, ofrecerían un impermeable natural capaz de repeler las aguas que no se evaporaran en la superficie.⁶⁵

Entre los vulcanólogos se presentó una discusión similar. Por ejemplo, según el Servicio Geológico de Estados Unidos, es imposible asegurar que no habrá actividad vulcanológica en la zona, aún cuando dicha posibilidad parece altamente improbable.

El tiempo durante el cual existirá un *alto riesgo* también provocó una polémica aún inconclusa. Según la Agencia de Protección Ambiental el diseño de la instalación deberá establecer medidas para evitar accidentes graves durante los siguientes 10 000 años.⁶⁶ Ante lo cual uno puede explicarse la continua y creciente movilización de los habitantes de Nevada para oponerse al basurero. Sin embargo, un panel convocado por la Academia Nacional de Ciencias consideró imprescindible contemplar un período de alto riesgo de un millón de años.⁶⁷

⁶⁵ Los innovadores han planteado otras objeciones que han provocado el debate entre sismólogos y vulcanólogos. Por ejemplo, el área donde se está construyendo el basurero esta surcado por 32 fallas geológicas de las cuales la falla principal Ghost Dance es la principal y se encuentra justamente en el sitio donde se construirá el basurero. En 1992 tembló en el lugar con una intensidad de 5.5 grados Richter. El geólogo Jerry Szymianski asegura que un reacondo de las fallas podría hacer subir el agua que se encuentra a 300 metros bajo la cámara donde se depositará la basura (Grynberg, 1996).

⁶⁶ Al respecto, Carl Gertz, director de las investigaciones en el sitio, afirmó orgulloso que se trataría del desafío tecnológico más grande de la historia pues las pirámides más antiguas del mundo fueron construidas hace 4 000 años, es decir menos de la mitad, del tiempo que deberá mantenerse en funcionamiento el Depósito de Yucca Mountain (The Economist, 1989, p. 28).

⁶⁷ La transportación de la basura desde diversos sitios es otro de los asuntos técnicos a discusión. Según el Proyecto de Caracterización de Yucca Mountain (Dependiente del DE), la transportación de los desechos comenzaría en el año 2010 y se realizaría a través de 250 vagones de ferrocarril y 1000 cajas de trailer construidos expresos mientras que numerosos críticos consideran que no existe un

6.6.4 El basurero de Sierra Blanca, Texas

El otro basurero proyectado por la ley de 1987 fue concebido para albergar los desechos radioactivos de bajo nivel. Su ubicación fue proyectada en el condado de Hauspedh, Texas, en un lugar llamado Sierra Blanca, a 26 kilómetros de la frontera con México. Dicho basurero provocó un acalorado debate. Numerosas organizaciones científicas y diversos grupos ambientales cuestionaron aspectos técnicos del mismo, como el hecho de que fue diseñado originalmente para otro sitio y no se tomaron las medidas adecuadas al cambiarlo de lugar, (como reforzar los contenedores para prevenir los mayores grados de erosión y permeabilidad del suelo). Su instalación en un lugar de alta sismicidad y su cercanía con el Río Bravo (del cual abastece de agua a numerosas comunidades mexicanas) también ha sido severamente cuestionado. Por otra parte, una gran amplia gama de organizaciones locales han objetado anomalías legales como la violación del Tratado de la Paz (Signado por los gobiernos de México y Estados Unidos en 1983 y en el cual se prohíbe ubicar instalaciones contaminantes y/o peligrosas a menos de cien kilómetros de la línea fronteriza),⁶⁸ así como la violación del Título IV de los Derechos Civiles que prohíbe utilizar el presupuesto en actividades discriminatorias

método de transportación capaz de evitar fugas al medio ambiente y garantizar la seguridad durante los traslados (U.S. Department of Energy, Yucca Mountain Characterization Project, 1992, p. 27). Respecto a su impacto sociológico ver anexo 8.

⁶⁸ (Betancourt, 1998)

(como instalar un basurero en una comunidad habitada en más de un 65% por ciudadanos de origen mexicano).⁶⁹

6.6.5 El Proyecto Piloto de Aislamiento de Basura

Finalmente, el otro basurero proyectado por el DE fue el ya mencionado Proyecto Piloto de Aislamiento de Basura. Es el único que ha sido concluido. Sin embargo, su inauguración en 1988 solo fue posible después de realizar importantes modificaciones al proyecto original. Supuestamente su puesta en funcionamiento solo fue autorizada bajo el compromiso de que el depósito mantuviera un carácter experimental. El depósito ha excedido por mucho las cantidades necesarias para la experimentación y ha sido utilizado para almacenar desechos transuránicos. Aún cuando dicha instalación cuenta con capacidad para albergar 800 000 barriles de desechos TRU las protestas por aspectos muy parecidos a los de los otros depósitos ha forzado al DE a aprobar la recepción de entre 25 000 y 125 000 barriles por un período de cinco años que ha sido ampliado en varias ocasiones. Numerosos científicos, ambientalistas y miembros del congreso criticaron el monto de la cantidad puesta a prueba.⁷⁰ Así mismo, han señalado el hecho de que las actividades mineras y de drenaje realizadas en la ciudad de Kansas, hacen altamente posible la existencia de agujeros en el subsuelo que podrían provocar serias fugas.

⁶⁹ (Betancourt, 1996).

⁷⁰ (Makhijani, 1995, p. 242).

6.6.6 Los depósitos fueron el resultado de una negociación

Como puede apreciarse por la larga lista de temas relacionados con los depósitos sobre los que no existe consenso en diversas comunidades científicas, la renovación de las técnicas para manejar y depositar los desechos nucleares no canceló el conflicto entre la cultura material tradicional y la innovadora. El diseño de los cuatro basureros federales simplemente trasladó a un nuevo plano dicho conflicto.

En conclusión el diseño de los depósitos bajo métodos más rigurosos que los empleados anteriormente, implicó un triunfo de la corriente innovadora, pero, al mismo tiempo, significó un triunfo de la corriente tradicional, en la medida en que los diversos cambios se limitaron a aquellos aspectos compatibles con la continuación de la carrera armamentista y la generación de energía eléctrica.

6. 7. La contradictoria renovación del complejo industrial nuclear.

Entre 1980 y 1989 el complejo nuclear militar transformó profundamente los métodos para tratar los desechos nucleares. Realizó inversiones sistemáticas para la investigación científica sobre sus características. Implantó nuevos métodos de empaquetamiento. Planeó la construcción de depósitos e inició un seguimiento más constante sobre sus efectos en el medio ambiente.

Los cambios introducidos en este período fueron resultado del conflicto entre tradicionalistas e innovadores. Aunque los tradicionalistas tuvieron un predominio

casi absoluto en los primeros años del período, su modelo para el manejo de los desechos resultó insuficiente para enfrentar la crisis provocada por la acumulación de desechos, el deterioro de equipos, los accidentes y la creciente preocupación ciudadana. El saldo de la resistencia ofrecida por la corriente tradicional es enorme. Provocó retraso en la investigación científica. Creó un clima de incertidumbre entre las empresas sobre el tipo de inversiones que se debían realizar. Obstaculizó la formación de consensos en la comunidad científica. Generó ineficiencia y contradicciones en los campos de la investigación científica y tecnológica.

Aunque los innovadores lograron reemplazar muchas de las antiguas prácticas para el tratamiento de los desechos, el resultado final, contenido en el Informe 2010 fue en realidad un pacto entre ambas corrientes. Los innovadores lograron que los desechos adquirieran mucho mayor relevancia de la que habían tenido. Pero los tradicionalistas lograron que los cambios fueran compatibles con la continuación de la carrera armamentista y la generación comercial de energía eléctrica.

El predominio de una u otra corriente dependió en buena medida de la relación entre el interior y el exterior de la comunidad tecnológica nuclear. La intensa presión exterior modificó la correlación de fuerzas al interior de la comunidad y otorgó un respaldo crucial a la corriente innovadora. Sin embargo, es necesario realizar un estudio más detallado respecto a la forma en que se desarrollaron ambas corrientes al interior de la comunidad nuclear para explicar en que medida los tradicionalistas aceptaron la sustitución de las viejas prácticas como una forma de preservar los elevados subsidios que el gobierno le brindaba a

las empresas en el contexto de una relajación de las tensiones internacionales y la finalización de la Guerra Fría.

CAPÍTULO 7

LA FORMACIÓN DE CÓDIGOS TECNOLÓGICOS Y LA LIMPIEZA DEL COMPLEJO NUCLEAR MILITAR: 1989-1997

7.1.- ¿Con qué problemas, soluciones y objetivos fue asociada la basura radioactiva?

En 1989 la industria nuclear civil y militar entró en una fase de transformación. La caída del muro de Berlín, el retiro de las tropas soviéticas de Europa Oriental y la desaparición de la Unión Soviética marcaron el fin de la Guerra Fría y crearon un clima de distensión. Los acuerdos Start I y II, suscritos por Estados Unidos y la URSS establecieron la obligación de reducir el número de armas estratégicas. Sin embargo, a pesar de las expectativas surgidas entonces la carrera armamentista no se detuvo sino que entró en una nueva etapa. De hecho el gobierno estadounidense decidió modernizar el complejo nuclear militar y diseñar nuevos modelos de armas nucleares desarrollando procedimientos menos contaminantes. Con ese fin, el Departamento de Energía se propuso *estabilizar* los desechos nucleares e iniciar la limpieza ambiental de algunas de las zonas afectadas por la industria nuclear militar. A través del *Proyecto Complejo XXI* se planeó sustituir los procedimientos y las armas obsoletas, diseñar nuevos modelos de armas nucleares -utilizando los materiales ya disponibles en los arsenales- y convertir parte de los laboratorios y las instalaciones nucleares a tareas ambientales.

Por su parte, el accidente de Chernobyl sumergió a la industria nuclear civil en una crisis de confiabilidad. La creciente desconfianza de la población estadounidense respecto a la seguridad de los métodos nucleares para producir energía eléctrica, el rechazo de varios estados a aprobar la construcción de

depósitos en su territorio, las protestas de los trabajadores de la propia industria nuclear, la baja de los precios del petróleo y el descontento provocado al conocer la información desclasificada de los archivos atómicos ocasionaron una creciente impopularidad de la industria nuclear civil que impidió su expansión. Frente a este obstáculo las grandes compañías intensificaron la tendencia, iniciada en el período anterior, de vender y construir nuevas plantas nucleares en países del Tercer Mundo.

En este contexto quedó claro que sería necesaria una profunda transformación del complejo nuclear militar, pero faltaba definir cuál sería el sentido de esa reestructuración. La terminación de la Guerra Fría provocó el surgimiento de diversas interrogantes cruciales: ¿el complejo nuclear militar, debería cerrarse o simplemente modernizarse?. En cualquiera de los dos casos; ¿quién debería encargarse de la limpieza?; ¿cómo debería limpiarse?; ¿cuáles serían los estándares para considerar que una instalación había sido descontaminada?; y finalmente; ¿cómo afectaría esta situación a la industria nuclear civil?.

Durante el período de 1989 a 1997 diversos actores internos y externos al complejo nuclear se hicieron estas preguntas e impulsaron distintos proyectos sobre cual debería ser el futuro de la industria nuclear y particularmente sobre el manejo de los desechos. En este contexto los distintos actores sociales asociaron la basura nuclear con distintos problemas, necesidades, soluciones técnicas y objetivos políticos. Las asociaciones que establecieron fueron muy importantes porque implicaron trazar diferentes senderos tecnológicos para el uso de la reacción en cadena.

Es por ello que en este capítulo analizaremos la forma en que el Departamento de Energía y los investigadores independientes y externos a la industria nuclear asociaron los desechos radioactivos con determinados problemas, soluciones técnicas y objetivos políticos. El concepto utilizado para el análisis es el de *código tecnológico*. Utilizaremos el concepto de código en el sentido en el que lo usa Umberto Eco. Es decir consideraremos como un código un sistema que reúne los siguientes elementos: 1) Una regla que asocia algunos elementos del sistema (a) con elementos del sistema (b)¹. Por ejemplo el sistema (a) de desechos radioactivos (compuesto por los diversos tipos de desechos) con el sistema (b) compuesto por una serie de técnicas para tratarlos. Es decir se trata de la correlación establecida por un actor social (vgr. el Departamento de Energía) entre un elemento (a) que en este caso son los desechos y una serie de elementos (b), (c), (d), y (e) que en este caso son los problemas, las necesidades, las técnicas y los valores políticos a los que los actores sociales asociaron los desechos. 2) una serie de nociones o estados (en este caso las sustancias consideradas desechos susceptibles de utilizarse como un sistema semántico, como ocurrió cuando el Departamento de Energía le asignó un determinado significado a esas sustancias).

En este caso consideraremos *código tecnológico* a algunos textos que fueron muy importantes en la configuración del sendero tecnológico por el que evolucionaron las técnicas para el manejo de los desechos y mediante los cuales, diversos actores sociales establecieron una correlación entre los desechos

¹ La definición de códigos brindada por Umberto Eco incluye también otras características como: 1) una serie de señales reguladas por leyes combinatorias internas susceptibles de convertirse en un sistema sintáctico; 2) una serie de posibles respuestas de comportamiento por parte del destinatario.

radioactivos y determinados problemas, necesidades, soluciones técnicas y objetivos políticos.

El análisis de una gran variedad de fuentes muestra que durante el período que nos ocupa, existieron una gran variedad de actores, tanto al interior como al exterior de la comunidad nuclear, que asociaron los desechos de la manera antes indicada. Sin embargo, con el objetivo de presentar una imagen clara a los lectores, el presente capítulo analiza el caso de cuatro documentos de gran importancia para la historia de la industria nuclear. El primero es un texto historiográfico de Goslin (1994a) en el cual, el Director del Archivo Histórico del Departamento de Energía describe la manera en que dicha institución asoció los desechos con determinados problemas, necesidades etc. durante la etapa de 1989 a 1994. El segundo texto es la memoria del *Seminario Nacional Sobre Desechos Radioactivos* que se celebró en San Luis Missouri en 1992 y en el cual numerosos especialistas externos al DE asociaron los desechos con problemas, necesidades y técnicas muy diferentes a los planteados por las autoridades nucleares. El tercer documento analizado es el *Programa Cerrando el Círculo del Átomo*, un documento crucial para la reconversión del complejo nuclear militar, en el que se explican las tecnologías seleccionadas por el DE para manejar los distintos tipos de residuos nucleares. Cabe decir que a partir de la publicación del programa el DE invirtió el 40% de su presupuesto en actividades relacionadas con los desechos. El cuarto texto analizado es en realidad un corpus *documental* integrado fundamentalmente por una serie de publicaciones del Instituto de Investigaciones sobre Energía y Medio Ambiente. Por lo tanto el

Sin embargo consideramos que para fines de este trabajo será suficiente con las condiciones

primer y el tercer texto expresan el código tecnológico interno y oficial, mientras el segundo y el cuarto expresan algunas de las posturas más representativas de los especialistas externos a la industria nuclear.

Aunque evidentemente analizamos muchas fuentes más estos cuatro documentos son muy representativos y muestran claramente que existieron visiones muy diferentes en el interior y el exterior de la comunidad nuclear respecto cuáles eran las tecnologías que se requerían para manejar los desechos radioactivos.

El análisis de estos cuatro textos que hacen las veces de códigos tecnológicos en los que los desechos son asociados a determinados problemas, necesidades, soluciones técnicas y objetivos políticos reveló que: 1) los problemas a los que se relacionó la basura, fueron fundamentalmente el resultado de una construcción social 2) aún en el caso de que los problemas fueran similares, existían diferentes técnicas para solucionarlos. Adicionalmente el análisis permitió: 3) contrastar el rigor y la eficacia de las diferentes alternativas técnicas propuestas por los distintos actores 4) demostrar que existían diversos senderos tecnológicos posibles para manejar y depositar los desechos y 5) que el sendero tecnológico que se impactó fue el resultado de una colisión entre varios proyectos de futuro, en el que 6) la capacidad de los distintos grupos para imponer su punto de vista fue una variable mucho más importante que la eficacia (en abstracto) de una opción técnica.. Sin embargo este trabajo se limita a mostrar los diferentes códigos sin detenerse a explicar porque uno de ellos logró imponerse frente al otro, debido a que dicha explicación ameritaría un estudio particular.

enumeradas en el cuerpo del texto.(Eco, 1978, pp. 78-79).

7. 2.- El Almirante Watkins crea un código para tratar la basura

7.2.1 El complejo nuclear reorienta sus actividades

En enero de 1989, George Bush nombró como Secretario del Departamento de Energía (DE), al Almirante James Watkins. Durante su gestión continuó la fabricación de armas nucleares y la generación de energía eléctrica con fines comerciales. Sin embargo, la existencia de diversos conflictos interinstitucionales y de numerosas protestas sociales por los daños ambientales y sanitarios, provocados por las operaciones nucleares, lo obligaron a considerar el asunto de los desechos como una de sus prioridades.

Para establecer cuáles eran los principales problemas relacionados con los desechos y cuáles serían las mejores soluciones para resolverlos, el almirante Watkins ordenó un diagnóstico sobre la forma en que eran manejados en las 2 700 instalaciones del complejo nuclear que se encontraban en operación. A éstos se les encomendó visitar las instalaciones del DE y efectuar estudios *in situ* sobre la situación en que se encontraban los residuos. A diferencia de las instancias precedentes que como la Rama Sanitaria que habían tenido un carácter relativamente marginal y que habían contado con poco respaldo de la administración central, los colectivos de visitantes llamados Equipos de Tigres

contaron con el apoyo del Cuartel General del DE y tuvieron una mayor libertad para efectuar su trabajo de campo.²

Cuando los Equipos de Tigres terminaron su trabajo, el Almirante le encargó a Leo Duffi -un funcionario del departamento- que elaborara un plan integral para resolver los problemas relacionados con la basura. El plan debería cumplirse en los próximos cinco años y uno de sus objetivos sería adecuar la industria nuclear a las exigencias de competencia comercial y seguridad ambiental vigentes entonces en Estados Unidos.³

En 1991 el Almirante creó la Oficina de Restauración Ambiental y Manejo de los Desechos.⁴ A partir de entonces, la oficina se encargó de: restaurar el medio ambiente, manejar la basura, estabilizar los materiales e instalaciones, desarrollar tecnología para cumplir con esos objetivos y brindar mantenimiento a las

² El diagnóstico elaborado por los equipos de tigres asoció la basura a problemas como la inadecuada caracterización sobre sus componentes, la falta de investigación sobre ella, la ausencia de un programa de remedio ambiental y la necesidad de indemnizar a aquellos ciudadanos que habían sido afectados por las instalaciones nucleares. Por ejemplo, la necesidad de pagar 73 millones de dólares a los 22 mil ciudadanos, cuyas propiedades se habían devaluado por su cercanía a Fernald, Ohio (Goslin, 1995).

³ A partir de los problemas identificados por los equipos de tigres Leo Duffi identificó como principales necesidades: reducir el volumen de los desechos, reemplazar las técnicas para el tratamiento de la basura, desarrollar labores de limpieza de los sitios contaminados por las actividades nucleares, así como, promover la participación del sector privado en estas tareas. Para ello propuso una serie de soluciones técnicas. Entre ellas destacaban el desarrollo de técnicas para minimizar la generación de desechos; sustituir la tecnología utilizada para tratar y almacenar la basura radioactiva, debido a que ésta era inmadura tecnológicamente e ineficiente económicamente. Para ello propuso la construcción de una planta de calcinamiento en Idaho, que permitiera reducir el volumen de los desechos y el desarrollo de una tecnología de restauración ambiental. Además estableció como principales objetivos políticos: la necesidad de generar un consenso nacional y ganar la confianza de la sociedad, sobre la capacidad del DE para realizar sus operaciones, en un marco de seguridad ciudadana. Para ello propuso formular una lista de prioridades mediante un pacto con diversas instituciones gubernamentales y conseguir un acuerdo con las tribus indias, afectadas por las actividades del departamento (U.S. Department of Energy, Five Year Plan, pp. 14-15).

⁴ Desde entonces la Oficina ha supervisado trabajos en 36 estados y territorios abarcando más de 3 700 lugares contaminados. (U.S. Department of Energy, Office of Environmental Restoration and Waste Management, Office of Technology Development, 1994).

instalaciones del complejo nuclear.⁵ Para cumplir con sus tareas, la oficina se organizó en base a diversas áreas. Una de ellas estuvo a cargo del cuidado ambiental y desempeñó actividades como: la restauración de suelos contaminados, el tratamiento de aguas de superficie, la descontaminación y desactivación de reactores, la exhumación de desechos subterráneos y la construcción de plantas de separación química. Otra área se avocó al mantenimiento de la basura y se encargó de: almacenar, tratar y depositar, los diversos tipos de desechos ya existentes, así como la basura generada durante las operaciones de limpieza que se realizarían en el futuro. Una tercera área se dedicó a realizar investigación aplicada, desarrollo, demostración, pruebas y evaluación de tecnologías, relacionadas con el manejo de la basura y la limpieza ambiental.

7.2.2 El almirante escoge los problemas prioritarios

La gestión del Almirante Watkins asoció la basura con problemas como: demostrar la compatibilidad entre las operaciones nucleares y la conservación del medio ambiente; la obsolescencia de las prácticas para el manejo de la basura; la ausencia de estímulos económicos para que las empresas se involucraran en las tareas de limpieza; y, la ausencia de cuadros profesionales para atender las tareas relacionadas con ella.

⁵ US Department of Energy/Office of Environmental Management (1995).

7.2.3 El almirante establece las necesidades básicas

A partir de este panorama su administración asoció los desechos a diversas necesidades, entre las cuales sobresalían las siguientes: promover la investigación científica, valorar los daños y riesgos provocados por los desechos; la urgencia de caracterizarlos; modernizar las operaciones de la industria de defensa; establecer un sistema de responsabilidades y castigos para las empresas que usaran métodos contaminantes; estimular económicamente a las empresas que participaran en tareas de limpieza; formar científicos especializados en el tema mediante currículas en las universidades; y elevar a un 10% del total del presupuesto destinado a la *estabilización* y limpieza de la basura.

7.2.4 Las soluciones técnicas propuestas por el almirante

El código del Almirante también propuso una serie de soluciones técnicas entre las cuales destacaban: ampliar la investigación, desarrollar métodos para *caracterizar* los desechos, desarrollar procedimientos para *separarlos*, diseñar procesos de *solidificación*, mejorar las técnicas de *encapsulamiento*, promover métodos ultraseguros de *transporte* y construir *depósitos federales*.

Para cumplir con éstos objetivos: otorgó recursos a los ocho laboratorios más importantes del complejo nuclear y les encomendó que realizaran investigación aplicada sobre tecnologías de *caracterización*, *separación*, *calcinación*, *vitrificación* y

compactación de los desechos. Para ello propuso la construcción de plantas de vitrificación y la edificación de depósitos centralizados.

Asimismo propuso desarrollar un amplio programa de remedio ambiental. Con ese objetivo los laboratorios deberían investigar cuales eran las técnicas más adecuadas para minimizar el volumen de los desechos que se generarían durante las operaciones de *estabilización*. Otra de las líneas debería ser el desarrollo de técnicas para descontaminar los lugares afectados por las instalaciones nucleares. Estas medidas serían complementadas por el establecimiento de sistemas de monitoreo ambiental, supervisados conjuntamente por el DE, la Agencia de Protección Ambiental, los gobiernos estatales y el público en general.⁶

7.2.5 Los objetivos políticos del almirante

La administración Watkins estableció también una serie de objetivos políticos. El más importante de ellos fue la formación de un *consenso nacional* capaz de crear un ambiente de confianza, en la capacidad del DE para resolver los problemas ecológicos generados por sus actividades. Los objetivos secundarios fueron convertir las tareas de limpieza en un *negocio* lo suficientemente atractivo como para entusiasmar las empresas, resolver los conflictos con otras instituciones y limar asperezas con las tribus indias. La estrategia para lograr estas metas se basó en medidas como: a) privatizar las tareas de limpieza b) elaborar una lista de prioridades conjuntamente con otras instituciones gubernamentales b) firmar

⁶ (Goslin, 1995, p. 81).

acuerdos con las tribus indias c) agilizar la construcción de depósitos y d) realizar una intensa campaña de relaciones públicas para persuadir a la población de que el problema de los desechos estaba resuelto. Esta última parte de la estrategia incluyó visitas a escuelas, discursos públicos, boletines de prensa y reuniones con ecologistas, instalación de buzones para atender quejas ciudadanas e indemnizaciones a ciudadanos afectados por las operaciones nucleares.

La gestión del Almirante marcó el inicio de una etapa en la que el manejo de los desechos y la limpieza ambiental comenzaron a ocupar un lugar cada vez más importante en la industria nuclear. Sin embargo es muy importante resaltar que *los problemas, las necesidades y las soluciones con las que relacionó los desechos implicaron la invención de un sendero tecnológico que pretendió hacer compatible, la continuación de las actividades nucleares con la limpieza ambiental.* Esto es, aunque implicó un importante paso hacia la evaluación y la solución de los efectos provocados por los desechos, también implicó subordinar la salud, la seguridad y el cuidado ambiental a los intereses de las grandes empresas que habían contribuido a gestar el desastre ecológico.

7. 3. Los investigadores independientes elaboran un código alternativo

7.3.1 El seminario planteó problemas muy diferentes a los del almirante Watkins

Durante el período 1989-1994, numerosos investigadores independientes y externos al DE estudiaron los fenómenos relacionados con los desechos nucleares. En 1992 casi al concluir la primera etapa del período que nos ocupa, se celebró un Seminario Nacional Sobre Desechos Radioactivos en el cual se plantearon,

problemas y necesidades muy diferentes a los planteados por Watkins. Uno de los aspectos más interesantes del seminario es que también planteó soluciones técnicas y objetivos políticos distintos. En suma la basura fue asociada a problemas, necesidades, soluciones y objetivos políticos muy diferentes a los del DE y constituyen en si mismo un código alternativo.⁷

Los especialistas externos al Departamento de Energía diagnosticaron problemas diametralmente distintos los a detectados por el Departamento de Energía. D'Arrigo (1992), consideró que uno de los problemas fundamentales era la existencia de una deficiente *clasificación* de los desechos. La escala utilizada para medir los niveles de radiación, es inadecuada afirmó, porque no esta basada en criterios como el nivel de peligro al que se expone a la población. Por ejemplo, la utilización de millirems para establecer la clasificación de la basura, oculta el hecho de que "un milirem equivale a 37 mil desintegraciones por segundo, cada una de las cuales puede provocar disturbios celulares que pueden desencadenar un cáncer".⁸ Además los estándares para clasificar los distintos tipos de desechos se han establecido utilizando modelos computarizados en los cuales no se tomó en cuenta la cantidad global de radiación, ni el tipo de exposición (a través de agua, aire, alimentos, etc.). La exclusión de éstas y otras variables hace imprecisa e inadecuada la clasificación adoptada por el DE.⁹

⁷ Un espacio importante para la formulación de este código alternativo fue el Simposio Nacional sobre Basura Radioactiva organizado por el Instituto de Servicios y Recursos Nucleares realizado en abril de 1992 en Saint Louis Missouri.

⁸ Diane D'Arrigo es Directora del Proyecto de Basura Radioactiva del Instituto de Servicios y Recursos Nucleares.

⁹ La clasificación vigente, aseveró, utiliza categorías como desechos radioactivos de *bajo nivel* para ocultar a la sociedad el hecho de que éstos serán peligrosos durante períodos muy largos. La

Por su parte, Saleska (1992) también criticó la clasificación empleada por el DE y la Comisión Reguladora Nuclear. Las categorías utilizadas en ella, son inadecuadas porque no describen el estado actual de la basura. Por otra parte la categoría de *bajo nivel* abarca todas las sustancias, no comprendidas en otras categorías. Esta situación, oculta el hecho de que contiene sustancias que serán *peligrosas durante plazos muy largos*. Por ejemplo, mucha de la basura clasificada en la categoría de *bajo nivel* contiene residuos de plutonio y a pesar de ello, será supervisada solamente durante 100 años aunque será peligrosa por más de cuatrocientos mil millones de años.¹⁰

Otro de los problemas planteados por los investigadores es que las normas que rigieron el diseño de la tecnología para el tratamiento y depósito de basura minimizaron los riesgos y los plazos durante los cuales existirán. En ese sentido afirma Saleska significan un derroche de recursos y expondrán a un grave peligro a varias generaciones.¹¹

clasificación de la basura empleada por el Congreso de Estados Unidos y la Comisión Reguladora Nuclear se ha utilizado con deliberada intención de confundir y dividir a las sectores afectados por las operaciones nucleares. El Departamento de energía ha utilizado las distintas categorías de la clasificación de la basura (vgr. bajo y alto nivel) para dividir y desorganizar a las comunidades afectadas por la basura nuclear. (D'Árrigo 1992). Además, agrega D'Árrigo, el DE ha tratado de comprar y dividir a las comunidades afectadas por la basura nuclear. Por ejemplo, las tribus indias que habitan en Nevada han recibido ofertas de millones de dólares por aceptar la instalación de un basurero federal. Un caso semejante ha sido denunciado por Johnsrud, (1992). en West Valley, Nueva York. Ahí la industria nuclear intentó comprar a la opinión pública mediante el ofrecimiento de empleos, progreso y carreteras.

¹⁰ Además, insistieron los investigadores, la tecnología utilizada para tratar y almacenar ese tipo de basura, es ineficiente en términos económicos. Representará inversiones de miles de millones de dólares, en tecnologías diseñadas sin una validación previa de los datos sobre los desechos. Dicha tecnología fue diseñada antes de contar con información completa y adecuada sobre el impacto que tiene en el medio ambiente, el lugar donde se instalarán los depósitos y las normas que prevalecerán en el largo plazo respecto a los límites de radiación admisibles para el ser humano. Bajo estas condiciones su implantación a escala industrial está condenada al fracaso y obligará a las nuevas generaciones a realizar inversiones que pudieron hacerse desde ahora.

¹¹ (Saleska, 1992, pp 117-122).

Por su parte, Johnsrud¹² (1992) vinculó los desechos con el problema de que están asociados con la mutación celular. Citando las investigaciones realizadas por Boardman, en el laboratorio del Centro de Estudios de Radiación Atómica sobre reproducción celular Johnsrud afirmó que el accidente de Chernobyl reveló que pequeñas dosis de radiación, que antes se consideraban inocuas, producen mutaciones celulares después de varias generaciones de células. Debido a que cuando se establecieron las dosis admisibles no se conocían esos datos, los estándares de seguridad son completamente inadecuados y exponen a los trabajadores y a los vecinos de las instalaciones nucleares a riesgos letales para varias generaciones de seres humanos.

Otro problema relacionado con los desechos es el aumento de las *dosis globales de radiación* en el planeta. Según Bertel¹³ (1992), los desechos radioactivos han elevado las dosis globales de radiación. Esta situación ha provocado un incremento en el volumen de sustancias radioactivas en los músculos, los huesos y los pulmones de numerosas personas, en muy distintos lugares del mundo.¹⁴ Esta situación implica un daño muy concreto a la salud de la población.

Otro problema planteado por Bertel fue el *deterioro del sistema inmunológico* de los seres vivos y particularmente del ser humano. El aumento de los materiales

¹² Judith Johnsrud es experta en el estudio de la basura generada por el accidente de Chernobyl.

¹³ Rosalie Bertel es Presidente del Instituto Internacional de Salud Pública de Toronto, Canadá.

¹⁴ Además, afirmó, cada año se generan 180 000 toneladas métricas de desechos mineros como producto de la obtención de 1 000 megawats de energía eléctrica producida mediante procedimientos nucleares. Paralelamente existe otro problema: los expertos vinculados a la industria nuclear distorsionan el impacto de la basura radioactiva al afirmar que el mayor peligro es la muerte por cáncer. El mayor riesgo es la pérdida de calidad de vida y el impacto que ésta puede provocar a las futuras generaciones.

radioactivos artificiales deteriora la calidad del sistema inmunológico y "reduce la capacidad del organismo para reaccionar saludablemente a los retos de un ambiente, que por otra parte, es más peligroso, justamente por la existencia de las sustancias radioactivas".¹⁵

La inexistencia de soluciones, para almacenar -y ya no se diga para *reintegrar* a la naturaleza- los desechos fue otro de los problemas planteados en el seminario. Al respecto Pryor (1992)¹⁶ citó el caso de la basura generada en abril de 1942 cuando se fabricó el combustible nuclear que se utilizaría en la pila de Fermi. Los desechos generados por la Compañía de Trabajos Químicos Mallinckrodt, en San Louis Missouri continúan siendo peligrosos y no se encuentran en un lugar que garantice su aislamiento.¹⁷

¹⁵ Como ejemplo citó los numerosos estudios realizados en Kerala, India. La radiación proveniente de los yacimientos de uranio, era mencionada frecuentemente en la literatura científica, como una muestra de que las altas dosis de radiación no necesariamente se traducían en daños a la salud. Sin embargo, según investigaciones recientes, citadas por Bertell, un estudio comparativo entre las 32 mil familias que viven en ese sitio, comparado con un grupo de 34 mil familias que viven lejos del lugar, demostró que el grupo expuesto a la radiación mostró mucho mayor incidencia de enfermedades como epilepsia, ceguera congénita, presencia de huesos anormales, falta de fertilidad, Síndrome de Down y diversos tipos de retraso mental (Bertell, 1992).

¹⁶ Director Ejecutivo de la Coalición de Missouri Para la Defensa del Medio Ambiente.

¹⁷ (Pryor, 1992).

7.3.2 Soluciones tecnológicas alternativas

Del mismo modo en que habían diferido en los problemas principales, los especialistas independientes también recomendaron otro tipo de soluciones técnicas. Marriote, (1992) propuso "la *suspensión inmediata de la generación de desechos*, al menos hasta que se encuentre una solución tecnológica para su depósito"¹⁸.

Saleska, (1992) propuso reestructurar el programa para el manejo de la basura nuclear en base a una serie de criterios generales que servían como premisa para decidir cuáles serían la mejores técnicas particulares. En primer lugar propuso reclasificar los desechos de acuerdo a su peligrosidad y sus plazos de riesgo. En segundo lugar planteó la necesidad de cancelar la construcción de los proyectos de construcción de depósitos porque estos habían sido diseñados en base a información y criterios ineficientes, complementariamente propuso formular nuevos criterios para la selección de los lugares donde deberían ubicarse los depósitos. En tercer lugar sugirió establecer una institución independiente al DE para llevar a cabo las tareas de manejo y limpieza. Adicionalmente recomendó incentivar a las empresas a participar en los programas de limpieza, privilegiando a aquellas que no han contribuido al desastre ecológico o la construcción de armamentos. Complementariamente consideró indispensable elevar las normas de exigencia ambiental, para el manejo de los desechos de origen civil y

¹⁸ (Marriote, 1992).

militar. En ese sentido, sugirió la sustitución de criterios elitistas y comerciales¹⁹ en el establecimiento de líneas de investigación científica sobre los desechos, por criterios centrados en la salud la de los seres humanos y la protección del medio ambiente. Asimismo señaló la importancia de realizar una investigación independiente sobre los daños provocados por la industria nuclear, a la salud de los trabajadores, los vecinos de las instalaciones, los veteranos atómicos y los países que hayan resultado afectados por sus actividades. En ese sentido consideró indispensable la *validación de datos* y la desclasificación de toda la información relacionada con el impacto ambiental de la basura nuclear.

En lo que respecta al tratamiento de los desechos propuso posponer la construcción a escala industrial de plantas para la *calcinación* y *vitrificación* de desechos líquidos hasta determinar donde se ubicarían los depósitos. Esta medida es fundamental debido a la importante interacción entre las técnicas de solidificación, los materiales de encapsulamiento y el medio ambiente del lugar donde serán depositados. En muchos casos una técnica adecuada para depositar los desechos en un lugar puede ser inadecuada si se depositan en otro los materiales empleados porque no podrán tomarse las decisiones adecuadas, hasta saber donde se ubicarán los depósitos. Finalmente planteó la necesidad reabrir la investigación sobre la ubicación de los lugares donde se debían ubicar los depósitos federales para los distintos tipos de desechos.

7.3.3 Otro tipo de objetivos políticos

¹⁹ (Saleska, pp. 122-126).

Los investigadores independientes plantearon objetivos políticos muy distintos a los postulados por Watkins. Por ejemplo, afirmaron la importancia de elevar la calidad, el volumen y la confiabilidad de la información sobre las operaciones nucleares y la necesidad de volverla accesible al escrutinio de los científicos independientes y las comunidades involucradas. En ese mismo sentido propusieron ampliar los márgenes de decisión de las comunidades, sobre los asuntos relacionados con el tratamiento y el depósito de desechos en los que pudieran resultar afectadas.²⁰

7.3.4 Los contrastes entre el código propuesto por Watkins y el seminario

Los **problemas** planteados por el Almirante Watkins fueron fundamentalmente la *caracterización de los desechos*, la incompatibilidad entre la operaciones nucleares y la conservación del medio ambiente; la obsolescencia de las técnicas para manejar la basura y la *ausencia de estímulos* para las empresas. Mientras tanto los investigadores independientes indicaron problemas mucho más

²⁰ Marvin Resnikof, es Asesor de la Asociación Para el Mantenimiento de la Basura Radioactiva con sede en Nueva York. En su ponencia asoció la basura radioactiva con la necesidad de que el DE sustituya la propaganda por información. Además planteó que cuando los ciudadanos cuentan con información sobre los riesgos reales vinculados a los basureros nucleares y se les ofrece la oportunidad de decidir, siempre se oponen a ellos. Mientras tanto, D'Arrigo (1992), señaló que en 1990 la Academia Nacional de Ciencias le exigió a la industria nuclear que suspendiera la campaña de propaganda destinada a convencer a la población sobre la factibilidad de garantizar el asilamiento de la basura durante períodos prolongados. Sin embargo, el mismo documento, señaló D'Arrigo, sugería informar al público que las sustancias implicaban muy pocos riesgos. Adicionalmente la mayoría de los científicos coincidieron en demandar la instauración de un proceso democrático que permitiera la validación de datos y proyectos proporcionados por el DE, la necesidad de suspender los basureros en lugares vulnerables políticamente y la importancia de socializar democráticamente los riesgos y las responsabilidades vinculadas con las operaciones nucleares.

graves vgr.: como el aumento de las *dosis de radiación global*, los daños al *sistema inmunológico*, la *mutación celular*, la *generación de nuevos desechos* y la inexistencia de técnicas para aislarlos. Las ***soluciones técnicas*** también fueron divergentes. Watkins sugirió la *caracterización, separación, solidificación* (mediante *calcinación y vitrificación*), el *encapsulamiento* y la construcción de *depósitos*. Los especialistas externos plantearon la necesidad de crear una *nueva clasificación* de los desechos, elevar los estándares de las dosis admisibles, desarrollar instrumentos y normas para tomar en cuenta algunos tipos de emisiones no incluidas hasta ese momento, formular nuevas líneas de investigación, posponer la aplicación a escala industrial de técnicas hasta que estuvieran maduras y se conociera el sitio donde se depositarán los desechos.

Las diferencias entre ambos códigos muestran varias cosas. Los problemas ocasionados por los desechos no eran *algo dado* eran el resultado de una interpretación o mejor dicho una construcción social resultado de una colisión de interpretaciones. La manera de afrontarlos en el código formulado por el Almirante Watkins no era la única, ni la mejor, ni tampoco la mas rigurosa. Por el contrario, dicha estrategia prorrogó la generación de desechos, seleccionó técnicas inseguras, costosas e ineficientes, y premió a las empresas que junto con el propia DE habían ocasionado los problemas. Consecuentemente, a pesar de su sofisticación y alto costo, las técnicas fueron seleccionadas fueron escogidas gracias a la capacidad de un grupo social para imponer su código tecnológico.

7. 4.- El Programa Cerrando el Círculo del Átomo

7.4.1. La adecuación del complejo nuclear a la post.Guerra Fría

Al iniciar el año de 1993 Hazel R. O'Leary, fue nombrada Secretaria del Departamento de Energía. Su administración puso en marcha el Programa Cerrando el Círculo del Átomo. Dicho programa elevó los gastos destinados a tareas de estabilización y mantenimiento de la basura a un 40% del presupuesto del Departamento de Energía. Además significó la elaboración de un nuevo código tecnológico basado en los principios de su predecesor pero ampliado a dimensiones extraordinarias.²¹

En 1994 O' Leary planteó que la fase más dinámica de la carrera armamentista nuclear había concluido. A partir de ello, afirmó, existían condiciones para desarrollar una discusión democrática respecto a las actividades de la industria nuclear. Esta situación obligaba al complejo nuclear a redefinir sus objetivos y transformar sus tareas, de la producción de armamentos a la conversión de equipos científicos y militares del Complejo Nuclear Militar, para realizar trabajos de limpieza y protección ambiental.²²

²¹ Un primer paso en la creación de este nuevo código industrial consistió en la desclasificación de numerosos documentos del Archivo Histórico del Departamento de Energía que habían permanecido en secreto durante casi medio siglo. El acceso público a los documentos se realizó mediante un programa de desclasificación denominado Openess.

²² (U.S. Department of Energy /Office of Enviromental Management, 1995).

7.4.2 El Programa Cerrando el Círculo del Átomo

El año de 1994 marca un momento histórico en el tratamiento de los desechos nucleares porque fue el primero en el que el Departamento de Energía destinó el 40% de su presupuesto en actividades de manejo de basura, limpieza y protección ambiental.

A partir de estas consideraciones, Thomas P. Grumbly, Secretario Asistente para el Mantenimiento Ambiental en la administración de O'Leary, dió a conocer el *Programa Cerrando el Círculo del Átomo*. El documento relacionó la basura nuclear con problemas, necesidades, soluciones tecnológicas y objetivos políticos más o menos similares a los planteados por el Almirante Watkins, pero con algunos cambios de matiz y aumentando los gastos, las operaciones y los objetivos, a una escala mucho mayor.

El programa reconoció la existencia de numerosos problemas relacionados con el manejo de la basura nuclear. El primero de ellos era que "cada paso en la producción de partes y materiales para las cabezas nucleares genera nueva basura y otros supproductos".²³ Además ofreció datos mucho más detallados sobre los problemas.

²³ Ibid. p. 23

7.4.2.1 La situación de los distintos tipos de basura

Por ejemplo en relación al combustible quemado, el programa afirmó que entre 1944 y 1988 Estados Unidos había quemado combustible en 14 reactores para producir plutonio. Una parte de ese combustible quemado fue reprocesado en plantas para recuperar uranio enriquecido y plutonio. En 1992 cuando disminuyó la demanda militar de plutonio y se cerró la última planta reprocesadora, existían 2 700 toneladas cúbicas de combustible quemado, ubicadas en 30 piscinas. El 99% de este material se encontraba en Hanford, Savannah River, Idaho y West Valley.

Las piscinas de éstas y otras instalaciones eran inadecuadas para almacenar durante largos períodos ese tipo de desechos. Aunque el volumen de *combustible quemado* almacenado por la industria civil era mucho mayor (30 000 tons. m3), los desechos de origen militar se encontraban en condiciones de mayor riesgo porque las piscinas de los reactores militares fueron diseñadas para vidas útiles mas cortas. Muchas de ellas eran cincuentenarias y por lo tanto se encontraban muy deterioradas. Adicionalmente, la mayoría de las piscinas, enfatizó el texto: "no reúnen las normas de seguridad gubernamentales o comerciales".²⁴ Por ejemplo, muchas de ellas fueron diseñadas sin contemplar la necesidad de controlar la composición del agua química utilizada para enfriar el combustible. Por esta razón, se hayan expuestas a la corrosión y la presencia de fugas, las cuales podrían provocar eventos críticos e incluso accidentes graves durante el manejo o la transportación del combustible contenido en ellas.

²⁴ Ibid. p. 27

Por otra parte, el programa reconoció la existencia de 100 millones de galones de desechos líquidos de alto nivel. La mayoría de ellos se encontraba en 243 tanques subterráneos ubicados en Washington, Carolina del Sur, Idaho y Nueva York.

"Como los trabajadores llenaron esos tanques, durante la mayoría del tiempo que duró la Guerra Fría, sin tomar muestras de su contenido y sin cumplir con nuestras actuales normas de registro, el Departamento de Energía, no tiene actualmente un conocimiento completo sobre las características de los desechos que contienen".²⁵

Esto implicaba que sin mantenimiento adecuado los tanques implicarían un riesgo grave durante un plazo muy largo. Asimismo el programa reconoció que:

"algunos tipos de basura líquida fueron colocados en tanques de evaporación, porque los ingenieros no esperaban que parte del material radiactivo se depositaría en el suelo y el agua subterránea tan pronto como empezara la evaporación".²⁶

Esta práctica provocó una significativa contaminación de los suelos y aguas subterráneas.²⁷

²⁵ Ibid. p. 31

²⁶ Ibid p. 23

²⁷ Esta situación fue provocada porque "las instalaciones avocadas a la producción de armas nucleares tradicionalmente habían usado métodos de depósito, que si bien se habían considerado

La basura de bajo nivel se encontraba en una situación semejante, aunque en un mayor número estados (sólido y líquida). Además incluía una gran cantidad de formas desde submarinos chatarra hasta ropa y equipos.

A partir del reconocimiento de estos problemas el programa planteó la necesidad de: estabilizar la basura, contener las fugas, limpiar los sitios contaminados, dismantelar y demoler las instalaciones obsoletas y minimizar la generación de desechos generados durante las tareas de limpieza. Además planteó la importancia de reducir los costos, brindar protección a los trabajadores y garantizar la seguridad de los ciudadanos.

7.4.3 Las soluciones técnicas

El *Programa Cerrando el Círculo del Átomo* asoció los desechos con la necesidad de investigar y desarrollar diversas soluciones técnicas para manejarlos.

Estas técnicas deberían cubrir cuatro grandes líneas: la *caracterización*, el *tratamiento*, la *remoción de radiosótopos*, el *encapsulamiento* y el desarrollo de *barreras contenedoras*. La madurez de estas técnicas era distinta en cada caso, algunas apenas comenzarían a investigarse, otras -de hecho la mayoría- se encontraban en la fase de desarrollo o experimentación, y algunas más comenzaban aplicarse a escala industrial. Buena parte de las técnicas desarrolladas

aceptables en su tiempo, especialmente entre 1943 y 1970, de acuerdo a los parámetros de nuestra época, deberían considerarse primitivos". Ibid p. 23.

durante este período eran resultado de las investigaciones iniciadas durante la gestión del Almirante Watkins.²⁸

La variedad de tipos, estados y formas en que se encontraban los desechos demandó una gran variedad de técnicas específicas. La caracterización requería del desarrollo de diversos tipos de *sensores analíticos*. Por ejemplo, el diagnóstico de los desechos almacenados en piscinas o tanques de almacenamiento se realizaría mediante sistemas de *análisis químico computarizado* (por ejemplo, para definir y supervisar la composición de los compuestos químicos que deberían agregarse a las piscinas para *estabilizar* el combustible quemado).

El tratamiento requería de técnicas aún más especializadas para los distintos tipos de desechos. Verbigracia, la basura líquida de alto nivel, sumaba 100 millones de galones de líquidos y lodos y se encontraba almacenada en 243 tanques de almacenamiento subterráneo ubicados en 4 estados. Para tratarla se diseñaron procesos industriales de segregación de sustancias y se planeó la construcción de plantas de solidificación, basadas en técnicas de calcinación, calcinación/vitrificación, vitrificación directa y supercalcinación.

El Laboratorio Nacional de Idaho construyó una planta de calcinamiento para transformar la basura líquida de alto nivel en polvo. Esto abrió la posibilidad de reducir su volumen a una 1/8 parte. El polvo se colocó en cilindros de acero recubiertos de concreto. Sin embargo, esta técnica tenía (y tiene) el problema de que las cápsulas requieren del algún sistema de enfriamiento en seco, el cual,

²⁸ El documento *Estimating Cold War Mortgage* ofrece un reporte pormenorizado de la fase en la que se encontraba cada una de las técnicas, su costo y aplicación regional.

resulta peligroso por que cualquier falla podría provocar la dispersión del polvo en el medio ambiente.

Por su parte, en Handford, Savannah River y West Valley, la basura líquida de alto nivel se mezcló con vidrio fundido y se colocó en tanques de acero y carbón. La vitrificación se realizó a control remoto y requiere de un estricto control de la mezcla química para evitar incendios. En 1995 dos modernas plantas de este tipo comenzaron a funcionar, en Savannah River y West Valley. Sus instalaciones se planearon para contar con la capacidad de vitrificar toda la basura en un plazo de 20 años.

La planta de Savannah River es sumamente importante. Dicha instalación almacenaba una gran cantidad de desechos radioactivos de *alto nivel* en diversos estados: sólido, líquido, lodoso y en torta. Después de un estudio sobre la basura líquida se decidió que la mejor manera de encapsularlo sería utilizando borosilicato. Para ello, se planeó la construcción de la Planta Procesadora de Basura de la Defensa Savannah River. Su construcción supuso desarrollar todo un proceso.

El proceso de vitrificación requirió de la construcción de instalaciones para separar los desechos de *bajo nivel* de los de *alto nivel*. Para tratar los desechos de *bajo nivel* obtenida de ese proceso se construyó una planta de tratamiento en Salston, cuya función era estabilizarlos y enviarlos a bóvedas de almacenamiento subterráneo. Los desechos de *alto nivel* debían ser mezclados con vidrio y calentados a temperaturas superiores a los 1000° c. Posteriormente debían ser encapsulados en acero inoxidable. Las cápsulas deberían colocarse en sistemas de enfriamiento y endurecimiento.

La planta se empezó a construir en 1983. Comenzó a funcionar en 1990. Las pruebas realizadas hasta 1993 mostraron que existían muchas fallas por lo cual la planta fue inaugurada formalmente hasta una fecha posterior. Su costo fue de 629 millones de dólares en lugar de los 287 programados originalmente. Fue construida y operada por la compañía Westinghouse.²⁹

Por otra parte, para tratar el *combustible quemado* se puso en marcha un programa consistente en mejorar las piscinas de los reactores donde se almacenaba la gran mayoría de este tipo de combustible. Asimismo se planteó el desarrollo de técnicas de calcinamiento y vitrificación.

Por ejemplo, el Laboratorio Nacional de Idaho diseñó nuevas piscinas antisísmicas. Sustituyó el agua de las viejas piscinas con compuestos especialmente diseñados para retardar la corrosión de los contenedores. Instaló sistemas de detección de fugas. Paralelamente, construyó una planta subterránea de encapsulamiento en seco, para poder vaciar algunas de las piscinas más deterioradas y poder colocar el combustible quemado en contenedores de metal.

En lo que respecta a los desechos transuránicos, éstos se monitorearon, reempacaron y salvaguardaron en nuevos contenedores, debido a que la mayoría de los contenedores antiguos habían estado a la intemperie y se encontraban sumamente corroidos. Los nuevos contenedores fueron envueltos en concreto o asfalto e impermeabilizados con sustancias especiales.

Los desechos de bajo nivel también requirieron de técnicas especiales. En el caso de Rocky Flats se construyeron nuevos tanques de almacenamiento, se

²⁹ U.S. Department of Energy/Office of Environmental Restoration and Waste Management (1993 a).

vaciaron 5 tanques de evaporación que contenían 700 000 galones de lodos y su contenido se transfirió a nuevos tanques equipados con doble pared de polietileno.

En el caso del plutonio cuya alta toxicidad y carácter flamable hacen muy difícil su manejo, el DE desarrolló nuevos trajes para los trabajadores, con sistemas de respiración, así como, zapatos y guantes reforzados. Además desarrolló respiradores para algunos de los contenedores para evitar que la acumulación de gases explosivos provocara incidentes. Por otra parte, colocó alarmas contra incendios y construyó la planta de solidificación para basura líquida de bajo nivel (antes mencionada) en Savannah River. Cambió numerosos contenedores y separó el polvo y el metal generados durante las tareas de reempaquetamiento o solidificación.

En materia de transportación se desarrollaron sistemas de transporte ultraseguros, para trasladar la basura transuránica.

Por su parte, las labores de *descontaminación* y *desactivación* de instalaciones también requirieron de técnicas específicas. Por ejemplo, el desmantelamiento de instalaciones requirió la construcción de robots/desmanteladores de equipo y robots/descontaminadores de gas. El tratamiento de aguas subterráneas demandó el desarrollo de filtros microbióticos y producción de microbios limpiadores. El tratamiento de suelos implicó desarrollar colectores electrokinéticos de radionuclidos.³⁰

Los residuos enterrados demandaron el desarrollo de sistemas telerobóticos, para caracterizar los desechos y recuperarlos selectivamente. Para el tratamiento y

³⁰ (US Department of Energy/Office of Environmental Management , 1995).

reempaquetamiento del plutonio se construyeron de *tableros de operaciones a distancia*.

La limpieza de los desechos transuránicos también requirió la robotización de múltiples actividades. Numerosos robots fueron experimentados en la caracterización del contenido de tanques, la excavación y remoción de desechos enterrados en el subsuelo y el desmantelamiento de equipos en plantas de difusión de gaseosa.³¹

El DE comenzó a desarrollar técnicas para minimizar el volumen de los desechos generados durante las operaciones de estabilización y limpieza. Los residuos radioactivos de bajo nivel fueron tratados mediante técnicas de minimización y segregación de radioisótopos generados durante las tareas de limpieza.

7.4.4 Construir instituciones democráticas

Los objetivos políticos fijados por el DE fueron varios. Hazel O'Leary planteó que ese momento ofrecía una oportunidad histórica para "construir instituciones democráticas que permitan decidir el futuro".³² En ese sentido propuso: institucionalizar mecanismos de consulta a las comunidades afectadas, involucrar a los observadores, darle la palabra a las tribus indias e invitar a las organizaciones ambientales a participar en las nuevas tareas del complejo nuclear. El programa

³¹ Ibid.

³² Ibid p. XIII

afirma que para alcanzar estos objetivos sería necesario despertar en los científicos una pasión tan intensa por el rescate ambiental como la que había despertado la construcción de las bombas. Pero eso solo podría lograrse, construyendo instituciones democráticas capaces de "cerrar el círculo del átomo".

Como puede apreciarse el programa implicó una importante reconversión de parte importante de los laboratorios y las instalaciones nucleares que ahora estarían parcialmente avocados a tareas relacionadas con el cuidado ambiental. Aunque debe enfatizarse que dicha reconversión fue parcial y se buscó hacerla compatible con la continuación de la carrera armamentista y la perpetuación de contratos para las empresas del complejo nuclear.

Además continuaron algunas de las principales líneas planteadas en el código de Watkins aunque eso si se abrieron nuevas líneas de investigación aplicada, planteó el desarrollo de nuevas técnicas, experimentó otras tantas y se aplicaron a escala industrial técnicas que habían permanecido en niveles experimentales durante el período anterior.

El programa implicó la creación de un nuevo código tecnológico en el que se asociaron los desechos a problemas como: el desconocimiento sobre el contenido de los tanques de almacenamiento, el deterioro de los equipos y la generación de nueva basura durante las tareas de limpieza. Asimismo reconoció necesidades como caracterizar la basura y elevar los parámetros de eficiencia. Entre las soluciones técnicas que propuso destacan la robotización de ciertas operaciones, la creación de equipos para análisis químico computarizado y la creación de operaciones a distancia.

7. 5. La formulación de un código alternativo

7.5.1 Los problemas identificados por los investigadores independientes

Los especialistas externos al DE elaboraron agudas críticas al programa Cerrando el Círculo del Átomo y propusieron alternativas consistentes y rigurosas. Científicos independientes, autoridades federales y locales, comunidades afectadas por las actividades nucleares y organizaciones ambientales cuestionaron las soluciones planteadas por el programa, formularon opciones y asociaron los desechos con problemas, necesidades y soluciones técnicas, muy diferentes a las del Departamento de Energía. Las nuevas asociaciones constituyeron un código industrial alternativo. Los científicos y especialistas independientes fueron particularmente prolijos y rigurosos. A continuación describimos solo algunas de sus propuestas más significativas.

Los investigadores independientes identificaron como principales problemas la fabricación y desarrollo de armas nucleares, la modernización del complejo nuclear, la generación de desechos en la industria nuclear civil y la incapacidad de garantizar operaciones nucleares sin riesgos para los trabajadores y la población.

Makhijani (1995) afirmó que las armas nucleares continuaban produciéndose a pesar de que la Guerra Fría había terminado. Los laboratorios continuaban la investigación, el desarrollo y las pruebas de nuevas armas nucleares. Esta nueva fase de la carrera armamentista³³ generaba grandes cantidades de basura. Como ejemplo de lo anterior, criticó el proyecto *Complejo XXI*, cuyo principal objetivo era

³³ (Betancourt, 1997)

diseñar nuevas armas, lo cual implicaría generar grandes cantidades de nueva basura.³⁴

Otro de los problemas señalados por Makhijani fue que los métodos utilizados para las labores de limpieza generaban grandes cantidades de nueva basura. Por ejemplo, los metales, filtros, globos, ropa, pipas y demás equipos usados para la restauración ambiental se convertirían después de usarse en nueva basura radioactiva.

Adicionalmente persistía un régimen laboral incapaz de garantizar la seguridad de los trabajadores tanto en las operaciones rutinarias como en las tareas de limpieza. Como ejemplo, pueden citarse diversos estudios en los que se demuestra una alta incidencia de leucemia y cáncer cerebral, entre los trabajadores de la industria nuclear.³⁵

7.5.2 Las necesidades sugeridas

Los expertos externos al DE plantearon también necesidades diferentes. Por su parte Roots (1994), planteó la necesidad de desarrollar un sistema que estudiara los desechos nucleares como parte de una política energética integral. Estos estudios deben incluir el desarrollo de *sistemas globales de evaluación* de los programas energéticos (que incluyan la generación y los riesgos de los desechos) así como la confección de sistemas de cálculo probabilístico de riesgo.³⁶

³⁴ (Makhijani, 1995).

³⁵ Ibid.

³⁶ En el Seminario Internacional organizado por la Nuclear Energy Agency y el Directorio Internacional de la OECD (1994), (Roots, 1994)

Makhijani, planteó que era indispensable realizar una investigación seria sobre el impacto de los desechos nucleares. Por ejemplo, afirmó que instituciones como el Instituto Nacional de Seguridad y Salud Laboral pueden realizar estudios epidemiológicos, más rigurosos y confiables que los efectuados por el DE. Asimismo es importante continuar, acelerar y mejorar el pago de indemnizaciones para los veteranos, los trabajadores y los vecinos de las instalaciones nucleares que han sido afectados por las actividades atómicas.³⁷

Al mismo tiempo es necesario que estos estudios incluyan líneas de investigación sobre materiales y tipos de emisiones que no habían sido considerados en investigaciones precedentes.

En ese mismo sentido es necesario, afirmó desarrollar equipos de dosimetría capaces de detectar los materiales y emisiones antes mencionados, pues hasta el momento (1995) la limpieza y la descontaminación se realizan con instrumentos que fueron diseñados antes de que se descubrieran los efectos de ciertos materiales y emisiones. Por otra parte es necesario, señalaron, recalibrar y dar mantenimiento a los viejos instrumentos de monitoreo ambiental que continúan funcionando hasta nuestros días.³⁸

En relación con la limpieza Makhijani sugirió incluir la limpieza de aguas subterráneas y otros sitios afectados por las actividades nucleares que no estaban enlistados en el programa oficial;³⁹ elevar las normas y medidas establecidas para

³⁷ (Makhijani, 1995, pp. 283-284).

³⁸ Makhijani, 1995, pp. 184-187

³⁹ Este era el caso de los depósitos de desechos líquidos Rothstein (1995). Las reparaciones de tanques y bloqueos para evitar la dispersión de contaminantes, propuestos en el programa dejaron

la limpieza de los sitios, estudiar y posteriormente advertir a los trabajadores cuales son los riesgos a los que están expuestos realmente y establecer una tabulación laboral consecuente.⁴⁰

7.5.3 Las soluciones técnicas

En función de estos problemas y necesidades los investigadores independientes asociaron la basura con la necesidad de *reestructurar integralmente* los programas para el manejo de los desechos del DE. Este proceso debe incluir el establecimiento de una *nueva clasificación*⁴¹ de los desechos basada en los plazos y el nivel de peligrosidad de los mismos. Paralelamente deben elevarse los estándares de limpieza, homologarse con las normas internacionales y sustentarse fundamentalmente en criterios de salud y la protección al medio ambiente.

Adicionalmente debe formularse un plan de limpieza a largo plazo que contemple la minimización de riesgos para los trabajadores, los vecinos de las instalaciones nucleares y las futuras generaciones.⁴²

pendiente la reparación de los daños provocados por derrames y emisiones anteriores. Por lo tanto ríos gravemente contaminados como el río Colombia, severamente dañado por Handford, el río Clinch afectado por Oak Ridge y el río Savannah deteriorado por la planta homónima quedarán sin resolverse.

⁴⁰ Asimismo planteó la necesidad de esclarecer la información sobre experimentos con humano y, particularmente aquellos relacionados con desechos. Esta sería la única manera en que se podría: establecer responsabilidades, indemnizar a las víctimas y procesar los datos sobre los daños causados por residuos. Cabe señalar que este tipo de experimentos incluyen desde la dispersión internacional de contaminantes realizada en 1943 para determinar sus efectos en poblaciones numerosas, hasta la irradiación de testículos de prisioneros en 1971 (Makhijani, 1995, pp. 178-183).

⁴¹ Otros autores coincidieron con esta propuesta. Por ejemplo, Rothstein (1995) planteó la importancia de reclasificar la basura de acuerdo a sus riesgos y longevidad, eliminando las actuales categorías que han sido establecidas únicamente a partir de la duración de sus vidas medias.

⁴² (Makhijani, 1995, pp. 249-256).

Rothestein (1995), afirmó la necesidad de sustituir el concepto de estabilización por el de limpieza a fondo. Además debería plantearse una estrategia que incluyera el tratamiento de los desechos de la industria nuclear civil.⁴³ Por ello debe agregarse la limpieza de aguas subterráneas.⁴⁴

Por otra parte, Rothenstein (1995) aseveró que algunas de las nuevas tecnologías para el tratamiento de los desechos auspiciadas por el programa *Cerrando el Círculo del Átomo* eran todavía muy inmaduras, pues la mayoría estaba en la etapa de las primeras pruebas. Por lo cual, aunque algunas de ellas parezcan prometedoras, es un error desarrollarlas a escala industrial antes de terminar la fase de prueba. Como ejemplo citó las técnicas de aplicación de plasma,⁴⁵ empleadas en la solidificación de desechos y la limpieza de equipos contaminados. Dichas técnicas ofrecen ventajas innegables respecto a las tecnologías tradicionales (como encementar, vitrificar o incinerar) pero en una etapa experimental, sería un error instaurarlas a escala industrial antes de culminar su experimentación. A pesar de ello, el DE proyecta aplicarlas a escala industrial corriendo el riesgo de reeditar problemas ocurridos con tecnologías tradicionales, cuyos defectos se descubrieron posteriormente a su implantación a escala, por haberlas industrializado antes e ser plenamente probadas y supervisadas por científicos independientes.⁴⁶

⁴³ (Rothestein, 1995).

⁴⁴ Además es importante garantizar que los programas sean realmente cumplidos porque en 1996 el Presidente William Clinton solicitó recortar las cifras destinadas a limpieza y manejo de desechos a los que el Congreso solicitó recortes aún mayores Ibid.

⁴⁵ Sobre esta técnica vease 8.3.1

⁴⁶ (Rothestein, 1995).

La investigación, el diseño, la experimentación y las pruebas de las diversas técnicas debe considerar seriamente la necesidad de mejorar los métodos y equipos de dosimetría, incluir un mayor número de *tipos de exposición*, tomar en cuenta la acumulación de dosis y considerar la interacción entre *dosis externas e internas*. Además, los programas de remedio deben incluir un cuidadoso estudio de los índices epidemiológicos, en las numerosas comunidades afectadas por la lluvia radioactiva.

7.5.4 Los objetivos políticos

Al exterior de la industria nuclear se plantearon objetivos muy distintos a los formulados en el interior. Los especialistas independientes establecieron como sus prioridades: terminar la carrera armamentista, establecer una nueva política energética y anteponer la seguridad de los trabajadores, las comunidades y el medio ambiente sobre los intereses económicos particulares.

En un sentido similar expusieron la necesidad de regir a la industria nuclear bajo los criterios generales de una sociedad democrática: la libertad de información y discusión, el escrutinio público y la igualdad de derechos y oportunidades.

Asimismo exigieron suspender las prácticas racistas y/o discriminatorias manifestadas al colocar las instalaciones peligrosas y los depósitos en comunidades integradas por minorías o pobres, así como, indemnizar a todas aquellas personas afectadas por actividades nucleares.

Por otra parte, exigieron que las técnicas para el manejo de los desechos y la limpieza ambiental fueran sometidas al escrutinio de investigadores independientes.

La participación de científicos independientes y las comunidades afectadas es la única forma de garantizar procesos de selección y supervisión de las operaciones nucleares. Igualmente propusieron estimular a aquellas empresas que no habían participado en el desastre ecológico.

Finalmente expresaron la necesidad de suspender la campaña de propaganda destinada a minimizar ante la opinión pública los riesgos provocados por la producción de armas, la generación de energía eléctrica por medios nucleares y las labores de estabilización y limpieza.

7.5.5 Características fundamentales del código alternativo

En suma, el código utilizado para cuestionar el *Programa Cerrando el Círculo del Átomo*, estableció sus propias correlaciones con los desechos. Los vinculó con problemas como la utilización de conceptos inadecuados (como la estabilización), el establecimiento de objetivos limitados, la carencia de recursos para llevarlos a cabo, la amenaza de recortes presupuestales, la irreversibilidad de la basura a su antiguo estado y sobre todo la generación de nueva basura, durante las operaciones de limpieza. Ante este panorama, los diversos críticos plantearon necesidades como; *sustituir el concepto de estabilización por el de limpieza a fondo y la importancia de incluir la descontaminación de aguas subterráneas y suelos.*

A partir de este diagnóstico sugirieron, entre otras, las siguientes soluciones: desarrollar nuevas técnicas como -las altas temperaturas de plasma - pero probándolas plenamente y sometiéndolas al escrutinio de científicos independientes, antes de implementarlas a escala industrial. Por último, plantearon

como objetivos políticos, estimular el desarrollo de una sociedad demandante, establecer mecanismos de presión para garantizar una adecuada acción institucional que sea coincidente con las preocupaciones, necesidades y demandas de la sociedad.

7.6 El proceso social de configuración de un sendero tecnológico

Entre 1989 y 1997 la industria nuclear vivió un período de transición determinante en muchos sentidos. La terminación de la Guerra Fría, liberó recursos, despertó expectativas sobre el desarme, desapareció el principal argumento por el que se habían construido los arsenales. Simultáneamente las preocupaciones suscitadas por el accidente de Chernobyl, la baja de los precios del petróleo y el surgimiento de un paradigma ambientalista en el discurso público, obligaron a la industria nuclear civil a elevar, así fuera minimamente sus parámetros de seguridad y cuidado ambiental.

Esta situación propició un momento crucial para la industria nuclear en el sentido de que la obligó emprender una importante renovación de sus tareas y sus prácticas. Al abrirse ese momento de renovación diversos actores elaboraron códigos tecnológicos, en los que asociaron los desechos con determinados problemas, necesidades, soluciones técnicas y objetivos políticos. El análisis de los cuatro códigos (Watkins, el Seminario, *Cerrando el Círculo del Átomo* y el del IIER) muestra que cada uno de ellos representaban la posibilidad de orientar el complejo nuclear hacia diferentes rumbos.

Ejemplo de lo anterior fueron las disyuntivas entre continuar o suspender la generación de desechos, renovar o mantener la clasificación de las sustancias, aceptar los datos existentes o someterlos a una revalidación, así como, crear una nueva institución para las tareas de limpieza o dejarlas en manos del Departamento de Energía. Por lo tanto, la diversidad de códigos implicó que durante un mismo período coexistieran diversos futuros tecnológicos posibles.

El código de Watkins formula una estrategia de estabilización de los desechos que: intentó hacer compatibles las operaciones nucleares con la protección al medio ambiente, abrió líneas de investigación mal planteadas, sustituyó la información por propaganda, prorrogó el uso de la reacción en cadena, continuó la carrera armamentista y emprendió una limpieza superficial del complejo nuclear.

Por su parte, el código de *Cerrando el Círculo del Átomo* aunque compartió muchas de las premisas del código de Watkins, reconoció problemas, asumió una actitud mas consciente del impacto que habían tenido los desechos y redimensionó las tareas relacionadas con los desechos. Sin embargo, se centró en la estabilización de la basura en lugar de una limpieza a fondo y seleccionó deficientemente las técnicas para el mantenimiento de la basura nuclear.

Cabe hacer notar que aunque los códigos internos (Watkins y *Cerrando el Círculo*) tienen líneas de continuidad evidente, el segundo recoge muchos elementos del código del seminario, por lo tanto la existencia de investigaciones críticas y alternativa logró impactar el proyecto gubernamental. Aunque este impacto no recogió demandas fundamentales como suspender la generación de desechos o

unificar el tratamiento de los desechos militares y civiles, representó una elevación importante de los parámetros de calidad⁴⁷.

Por su parte, los códigos externos al DE (el Seminario y los documentos del IIER) hicieron varias aportaciones a la configuración del sendero tecnológico seguido para tratar los desechos. Una de sus aportaciones más importantes fue que volvieron visible la artificialidad de la tecnología elegida por el DE. Es decir, mostraron que las técnicas seleccionadas para emprender la limpieza no eran el resultado de la evolución natural de una tecnología, sino que eran consecuencia de una elección entre diversas opciones.

La existencia de códigos alternativos muestra que *el proceso de negociación social a través del cual se selecciona uno entre varios senderos tecnológicos posibles es determinante. En el caso que nos ocupa los códigos externos fueron derrotados por un asunto de correlación de fuerzas políticas y no por su falta de coherencia en su argumentación o por ausencia de rigor científico.* A pesar de la sofisticación de las tecnologías desarrolladas durante este período la falta de discusión pública volvió mucho más falible el proceso de configuración de un sendero tecnológico. De esta manera importantes propuestas como; suspender la generación de desechos, establecer procedimientos confiables para valorar el impacto real de las actividades desarrolladas durante la Guerra Fría, someter los datos y los proyectos científicos a una revisión efectuada por científicos

⁴⁷ Como ejemplo de lo anterior *Cerrando el Círculo* retomó algunas de las preocupaciones planteadas por los distintos sujetos que habían formulado críticas al código elaborado durante la administración del Almirante Watkins. De este modo, palabras como: procedimientos democráticos, consulta a las comunidades, seguridad laboral y cuidado ambiental, fueron incorporadas en los programas gubernamentales.

independientes y finalmente consultar efectivamente a las comunidades, fueron excluidas del *Programa Cerrando el Círculo del Átomo*.

La elaboración de códigos industriales fue determinante en la renovación del complejo nuclear, entre 1989 y 1997. El tipo de asociaciones a las que se vincularon los desechos radioactivos influyó en muy diversos aspectos del cambio técnico en esa rama industrial. De hecho, los códigos elaborados por los distintos sectores de la industria nuclear determinaron diversos aspectos de la investigación y el desarrollo experimental de tecnologías como la apertura de líneas de investigación, la asignación de recursos, el desarrollo experimental y a escala de técnicas como la vitrificación, la calcinación, la robotización, las operaciones a distancia, el análisis computarizado y el diseño de depósitos centralizados. Además influyeron en sus operaciones a través de ámbitos como la elaboración de una clasificación de las sustancias y mediante la creación de instituciones como la Oficina de Mantenimiento y Seguridad Ambiental. Finalmente afectaron decisivamente la manera en que la sociedad acogió dichas tecnologías y se comportó frente a la industria nuclear.

En resumen, la formación de códigos industriales en el complejo nuclear fue determinante en muchos aspectos ambientales, sanitarios y económicos, tanto de la historia inmediata como de las bases sentadas para un futuro de muy largo plazo. Sin embargo, la dinámica mediante la cual, la industria nuclear ha establecido sus códigos industriales continúa siendo un serio obstáculo para la desinversión de la basura nuclear y significará un alto costo económico, humano y ambiental en el futuro.

Mientras tanto algunos de los códigos industriales elaborados al exterior de la comunidad nuclear jugaron un importante papel para la incorporación de parámetros ambientales más exigentes y jugarán un papel aún más importante en el futuro, como demostraciones palpables de la posibilidad de mejorar la tecnología existente.

Por eso, los códigos externos seguirán jugando un importante papel en el futuro. Aún en el caso de que se mantengan como códigos alternativos y relativamente marginales, seguirán aportando elementos para contrastar y mejorar los códigos internos. Pero además pueden convertirse en códigos tecnológicos que marcan la pauta sobre las medidas necesarias para reorientar el uso de la radiación hacia una línea de evolución tecnológica, más eficiente económicamente, más segura para la vida y el medio ambiente, más democrática en sus procedimientos y que además sea promotora de un desarrollo más igualitario entre los distintos grupos sociales. Sin embargo es un hecho que la sociedad deberá mejorar el procedimiento mediante el cual elige una de las muchas trayectorias tecnológicas posibles o tendrá que pagar el costo social y ambiental por no aprender a hacerlo.

SOLUCIONES	TÉCNICAS ASOCIADAS A LOS DESECHOS EN EL PERÍODO 1989-97
Almirante Watkins	Soluciones Técnicas Minimización Calcinación Vitrificación Solidificación Reducción de volumen Depósitos
Seminario sobre la basura	Suspender generación de desechos Nueva clasificación Elevar normas de calidad Nuevas líneas de investigación Validación de datos prolongar periodos de experimentación
Programa Cerrando el Círculo del Átomo	Caracterización Segregación Tableros de operaciones a distancia Solidificación calcinación calcinación/ vitrificación vitrificación directa supercalcinación Robotización
Investigadores independientes	Nueva clasificación Validación de datos Maduración de tecnologías Nuevos estándares Nuevos tipos de exposición Acumulación de dosis Relación encapsamiento /depósito Desechos civiles Limpieza de aguas subterráneas

CAPÍTULO 8

LA DESINVENCIÓN DE LA BASURA NUCLEAR

8.1 Introducción. Tratamiento y decontaminación de instalaciones

Este capítulo analiza la colisión entre dos voluntades opuestas. La primera fue desplegada por la industria nuclear y tuvo como objetivo, reducir los riesgos derivados del manejo de los desechos nucleares y lograr una sofisticación del complejo nuclear militar y una ampliación de la industria nuclear y civil. La segunda fue desplegada por diversos científicos y movimientos sociales principalmente al exterior de la industria nuclear con el fin de desarrollar alternativas que permitan suspender la generación de desechos y ampliar la racionalidad y eficacia de las técnicas utilizadas para manejarlos.

Ambos esfuerzos están íntimamente relacionados con una pregunta central: ¿Es posible desinventar la basura nuclear?. Para responderla, este capítulo aborda sobre varios temas. La primera parte: describe los enfoques contemporáneos de la historiografía de la ciencia y la tecnología respecto al proceso de invención, define el concepto de desinvención, plantea la posibilidad de desinventar una tecnología y hace algunas consideraciones metodológicas sobre la posibilidad de desinventar los desechos nucleares. La segunda parte, describe algunas de las técnicas de vanguardia para *caracterizar, separar y empaquetar*¹ la basura nuclear, así como, algunas de las tecnologías utilizadas para *descontaminar* los lugares afectados por las actividades nucleares. La tercera parte, describe la estrategia propuesta por diversos investigadores (principalmente del IEER) para dismantelar las

¹ El tema del depósito de los desechos fue tratado extensamente en el capítulo anterior y ahora se menciona solamente de manera muy general.

condiciones que han hecho posible tanto la generación de nuevos desechos y la ineficiencia de las técnicas para manejarlos.

La cuarta parte, aborda alternativas específicas para mejorar el tratamiento de los desechos y las tareas de limpieza ambiental. La quinta, analiza el caso del *combustible enriquecido en grado nuclear* obtenido del desmantelamiento de cargas nucleares y plantea algunas de las alternativas respecto a ¿qué hacer con él?. La parte final enumera brevemente los alcances y limitaciones de la *desinversión de los desechos nucleares*.²

8.2. ¿Es posible desinventar la basura nuclear?

8.2.1 La invención y desinversión de una tecnología

La respuesta a esta interrogante la abordaremos a través de varias etapas:

1) explicar una invención como el resultado de un proceso social; 2) definir que se entiende por desinversión; 3) analizar si es posible desinventar una tecnología; y 4) analizar si sería posible desinventar los desechos nucleares y cuáles serían las premisas para ello.

La invención de una tecnología es un hecho que acontece en la mediana duración.³ No es una buena idea ocurrida como un chispazo en el laboratorio, ni

² Aunque esta investigación cita una gran cantidad de autores, los párrafos referentes a la estrategia general para desinventar la basura nuclear y las alternativas tecnológicas para lograrlo se basaron fundamentalmente en diversas investigaciones realizadas por el Instituto de Investigación sobre Energía y Medio Ambiente, cuyo trabajo representa sin duda, una de las pocas investigaciones de carácter integral sobre los problemas relacionados con los desechos.

³ El historiador Fernand Braudel propuso considerar que el tiempo histórico puede transcurrir en tres diferentes ondas de duración: el corto plazo (episódico), el mediano plazo (los procesos de varios años o incluso décadas) y la larga duración --aquellas acciones que llevan décadas o siglos (Braudel, 1987).

acontece mientras cae una manzana.⁴ Es un complejo procesos sociales desarrollado por diferentes actores, a lo largo de distintos momentos. En el proceso de invención intervienen: diseñadores, empresarios, políticos, científicos, comerciantes y consumidores. Estos y otros sujetos sociales añaden, modifican o suprimen elementos a la innovación a lo largo de etapas como la investigación y desarrollo, la aplicación, la difusión, la madurez o el regreso al laboratorio⁵.

El proceso social de invención de un artefacto o procedimiento incluye tanto la fabricación material de la misma, como la construcción de la manera en que será percibida. Es decir, la innovación material debe ir acompañada de un proceso mediante el cual los distintos sujetos sociales establecen una relación entre una innovación y determinados *valores, necesidades, problemas y posibilidades*.⁶ Por lo tanto, el *proceso de carga semántica* de una innovación forma parte fundamental del proceso de invención. La construcción social del(los) significado(s) de una innovación es parte del rediseñamiento de la misma y es

⁴ ¿Cuándo puede considerarse que algo ha sido definitivamente inventado?, ¿cuándo se concibe el diseño, cuándo se hecha a andar el primer prototipo?, ¿cuándo se desarrolla y se prueba?, ¿cuándo se implementa a escala?, ¿cuándo conquista el corazón de los consumidores? o ¿cuándo regresa al retirador para ser rediseñado?. A veces pueden pasar años entre una etapa y otra. Estas preguntas forman parte de un importante debate en las nuevas corrientes de la historiografía de la ciencia y la tecnología. Para conocer las posturas de este debate pueden consultarse (Bijker, et. al. 1992) y (Gugerli, 1989).

⁵ Actualmente existen muchos cuestionamientos al concepto de trayectoria tecnológica. Uno de ellos se refiere a que dicho concepto supone la existencia de fases claramente definidas (invención, desarrollo, difusión, etc.) en la vida de una innovación. Diversos autores vgr. (Bijker, 1987), (Latour, 1987) Gugerli, 1989) han planteado que las innovaciones están sujetas a un continuo proceso de rediseñamiento, por lo cual, es difícil establecer con precisión en ¿qué momento se ha inventado algo?. Una innovación puede ser casi completamente reinventada durante cualquiera de las etapas planteadas por el concepto de trayectoria tecnológica. Por ejemplo, cuando se construye una computadora personal o se conectan varias computadoras personales a una red, es difícil definir si la computadora ha llegado a su fase de madurez, ha sido completamente reinventada o simplemente se le ha añadido una innovación secundaria. Por esta razón aunque hacemos uso de las fases descritas por el concepto de trayectoria tecnológica, estamos conscientes de que el orden de las etapas puede alterarse y del importante debate respecto al concepto de trayectoria tecnológica.

una de las condiciones de su viabilidad social. De esta manera la invención de un instrumento, procedimiento o producto tecnológico es un proceso que incluye la construcción de una percepción más o menos generalizada de la manera en que la innovación será percibida por los distintos actores sociales.

Ahora bien, aunque existe la idea de que una vez alcanzado un determinado cúmulo de conocimientos científicos y tecnológicos que permitieron desarrollar una innovación, ésta suele ser algo irreversible, en realidad dicha idea corresponde a la concepción de que una invención es un episodio instantáneo e individual. Sin embargo, bajo la concepción de que una invención es un proceso colectivo, hace necesario preguntarse si es posible revertir un proceso de invención. La pregunta surgió a propósito de la invención de la bomba nuclear, pues a lo largo de la Guerra Fría, la preocupación por saber si podía desinventarse la bomba atómica se convirtió en una preocupación fundamental.

Al respecto Mac Kenzie (1996) ha señalado la posibilidad de desinventar las armas nucleares en base a una sólida argumentación. Esta consiste en afirmar que aunque la actividad científica implica el desarrollo de una serie de conocimientos que son acumulables y comunicables, existen también una serie de *conocimientos tácitos* que son muy difíciles de transmitir y que requieren necesariamente de la práctica. De tal suerte que si esta práctica se pierde provocando la desaparición de los conocimientos tácitos, aún cuando los conocimientos acumulables y comunicables persistieran, el proceso para reconstruir un invento implicaría más bien una reinención. Uno de los ejemplos

⁶ Según Bijker, (1995) la invención de un objeto, un material o un instrumento es también la invención de una percepción social que lo reconoce como tal.

utilizados por el autor antes citado es el de los arqueólogos que han intentado utilizar artefactos cuyo origen se remonta a los tiempos prehistóricos. En esos casos, la fabricación o utilización de dichos instrumentos a requerido de un arduo proceso para recuperar las habilidades empíricas necesarias para fabricar o utilizar dichos instrumentos. En primer lugar es difícil establecer si la habilidad desarrollada por los arqueólogos es la misma que tenían los hombre primitivos y en segundo lugar el proceso ha sido tan arduo que desarrollar la habilidad parece mucho más una reinención que una simple reutilización.

En el caso de las armas nucleares, el ejemplo utilizado por Mac Kenzie es el de la fabricación de las primeras bombas nucleares rusas, francesas y chinas. En los tres casos, cada una de las potencias contó con la participación de científicos que habían colaborado con anterioridad en la fabricación de armas nucleares, o por lo menos tuvo acceso a importantes informes sobre su fabricación. Sin embargo, la complejidad del proceso para producir una bomba nuclear ofreció numerosos obstáculos. Por ejemplo la elaboración de sistemas de detonación -basados en los sistemas de bala o de implosión- ofreció tantas dificultades, que requirió de nuevos diseños parciales y de una gran cantidad de nuevos experimentos e instrumentos.

De hecho si revisa la cronología podrá apreciarse que la invención de la bombas detonadas en Trinity, Hiroshima y Nagasaki se realizó entre 1942 y 1945, mientras la URSS inventó su primera bomba entre 1945 y 1949, Francia entre 1955 y 1960, y China entre 1955 y 1964. Obviamente puede aducirse que estos plazos dependieron de cuestiones como la inversión, la calidad y variedad de la comunidad científica, etc. Pero también debe tomarse en cuenta que mientras el

Proyecto Manhattan requirió de una gran cantidad de cálculos hechos mediante tarjetas por una legión de mujeres, los esfuerzos desarrollados posteriormente, por los países antes citados, contaron con ventajas como: el desarrollo de computadoras, la existencia de una amplia literatura sobre el tema y la existencia y disponibilidad de una gran cantidad de componentes.

El análisis de Mac Kenzie indica que de hecho bajo las condiciones actuales, la fabricación de bombas ha requerido de un proceso de reinención.

En base a este marco, *en el presente trabajo, utilizamos el concepto de desinención, para referirnos al desmantelamiento intencional de las condiciones técnicas, económicas, políticas y culturales que hacen socialmente viable a una innovación.* El desmantelamiento intencional implica un proceso diferente a la obsolescencia "natural" de una tecnología (fenómeno inherente al cambio técnico) y difiere también del proceso de destrucción/creación de los elementos tecnológicos. La desinención implica la posibilidad de volver inhabilitar intencionalmente una tecnología. Por lo tanto, implica *la posibilidad de transformar las condiciones sociales que permitieron desarrollar un determinado sendero tecnológico para retornar hasta un punto anterior y emprender una línea alternativa de desarrollo.* Por lo tanto, *la desinención implica ampliar los márgenes de intencionalidad del proceso de destrucción/creación de una tecnología.*

8.2.2 Invención y desinvención de la basura nuclear

La invención material de la basura nuclear fue precedida por un proceso social. En dicho proceso los empresarios, científicos, militares, políticos entre otros grupos sociales de la sociedad estadounidense le otorgaron un determinado significado a las *sustancias radioactivas* generadas por el uso de la *reacción en cadena*, antes de que la reacción en cadena fuera una realidad en Estados Unidos.⁷ De esa manera el concepto de desechos nucleares precedió su existencia material. Su conceptualización como basura (acuñada para poder construir la bomba) presentó la imagen de que las citadas sustancias radioactivas constituirían un problema secundario de la tecnología nuclear y que serían más o menos manejables. De hecho la construcción de la bomba comenzó hasta después de que esta conceptualización logró imponerse frente a otras conceptualizaciones y por lo tanto la existencia material de los primeros desechos radioactivos fue precedida por el concepto de desechos.

Ahora bien durante los años posteriores a la Segunda Guerra Mundial nuevamente existió una intensa actividad social que legitimó el concepto de desechos y la generación material de un amplio espectro y volumen de desechos radioactivos. La existencia de un régimen industrial de excepción auspició: la ausencia de controles inter-institucionales, el control de la información y el secreto, los bajos niveles de seguridad, la ausencia de investigación sobre la basura y la falta inversiones en desarrollo. Esta situación propició la generación en cantidades

masivas de una gran variedad de sustancias, cuyas características físicas las hacían difíciles de manejar, pero cuyo manejo se hizo más complejo por por las condiciones técnicas, económicas, políticas e incluso culturales con las cuales fueron manejadas.

Los desechos nucleares es un subproducto del uso de la *reacción en cadena*. En ese sentido el tema de su desinversión puede abordarse desde tres perspectivas diferentes. La primera, implica preguntarse si es posible utilizar la *reacción en cadena* sin generar desechos o en su caso reduciendo considerablemente su volumen. La segunda, tiene que ver con su *desinversión material*, es decir con la posibilidad de desarrollar una tecnología capaz de revertir las sustancias radioactivas inútiles y peligrosas a un estado no radioactivo. La tercera, se relaciona con la posibilidad de desinventar la forma la percepción que se tiene de ellas.

En relación a la primera perspectiva, es posible asegurar que hasta la fecha no existe ninguna manera de emplear la reacción en cadena sin generar una gran cantidad desechos. Sobre la segunda perspectiva (la desinversión material) describimos su imposibilidad en el siguiente párrafo. En relación con la tercera, es importante considerar que el concepto de desechos fue construido socialmente para designar a las sustancias radioactivas generadas por el uso de la *reacción en cadena* y para las que no se ha encontrado utilidad. Y aunque estas sustancias existen y no hay técnica para reducir los plazos durante los cuales serán radioactivas, la forma en que han sido conceptualizadas permite que sigan

⁷ Como se recordará por lo expuesto en el capítulo 1 de esta obra, la conceptualización de las sustancias radioactivas como basura se desarrolló paralelamente a la decisión de utilizar la

generándose en grandes cantidades y que se manejen con parámetros de eficiencia y seguridad inferiores a los existentes en otras industrias. Es por ello que los apartados 8.4 y 8.5 describen las propuestas de quienes consideran que las sustancias radioactivas generadas por la reacción en cadena deben conceptualizarse como *sustancias radioactivas de alta peligrosidad* (o como lo hicieron algunas de las conceptualizaciones elaboradas en 1942 como veneno o basura). Esta propuesta mucho más que un mero cambio de nombre, implica asumir la magnitud de los problemas provocados por estas sustancias y *cuestionar el sendero tecnológico que permitió la utilización de la reacción en cadena para construir armas nucleares y para generar energía eléctrica.*

8.3.- Tecnología de vanguardia en el manejo de la basura nuclear y labores de limpieza ambiental

8.3.1 La desinversión material de la basura nuclear

Desde la generación de la primera basura nuclear procedente de la *Pila de Fermi* hasta nuestros días se han probado numerosas técnicas para detener o reducir la radioactividad de una sustancia o por lo menos para reducir los plazos durante los cuales permanecerá radioactiva. Sin embargo todos los intentos han fracasado. Lo que si ha podido lograrse es desarrollar sofisticadas técnicas capaces de remover sustancias altamente radioactivas incrustadas en determinados materiales. El resultado obtenido a través de estas técnicas ha permitido separar materiales altamente radioactivos como el plutonio o las

reacción en cadena para producir una bomba nuclear.

sustancias transuránicas de materiales como los metales, el concreto u otros materiales donde se encuentran incrustados. La aplicación de estas técnicas permite convertir, los equipos y edificios altamente contaminados, en basura de bajo nivel y concentrar la basura transuránica (TRU) y de alto nivel (HLW) en depósitos especiales.

Una de las técnicas más avanzadas para efectuar esta separación de la basura y limpiar equipos o edificios contaminados es la *Aplicación de Plasma Aplicada a Presión Atmosférica*. El procedimiento consta de los siguientes pasos. En primer lugar, se *traza un mapa* de una superficie altamente contaminada por ejemplo, un reactor en desuso o un edificio, para identificar los lugares donde se alojan las sustancias con mayores dosis de radiación como el plutonio u otros actinidos. Posteriormente se *bombardea* la superficie contaminada con un rayo de plasma para vaporizar las citadas sustancias. Los siguientes pasos consisten en *extraer, filtrar y concentrar* las sustancias removidas. Este procedimiento se puede usar en metales, cables o concreto e implica la posibilidad de descontaminar parcialmente equipos e incluso edificios. La descontaminación es parcial debido a que la presencia de actinidos activa las sustancias donde estos se alojan de tal manera que aunque se remuevan las sustancias más peligrosas, los materiales donde estaban incrustadas permanecen radioactivos. Sin embargo a pesar de sus limitaciones el procedimiento implica la posibilidad de convertir grandes cantidades de basura transuránica en basura radioactiva de bajo nivel⁸.

⁸ Esta técnica se encuentra bajo experimentación en la Planta de Plutonio del Laboratorio Nacional de Los Alamos (Hicks, 1996).

Los logros obtenidos por este procedimiento han sido descritos por el Departamento de Energía como la posibilidad de realizar la anhelada **transmutación** de la materia, debido a que grandes cantidades de basura TRU pueden recuperarse a una pequeña porción de basura TRU y convertir la porción mayoritaria en basura de *bajo nivel*. Sin embargo, aunque los alcances de la aplicación del plasma reducen considerablemente el volumen de la basura TRU, al separarla de otro tipo de basura, en realidad el proceso se limita a separar los distintos tipos de desechos y sería incorrecto hablar de una auténtica **transmutación**. En general, estas técnicas permiten reducir el volumen de la basura y colocarla en formas más estables, pero en cualquier caso, las sustancias radioactivas deben ser separadas, encapsuladas y depositadas en algún lado.

8.3.2 El manejo de la basura

Debido a la imposibilidad de interrumpir la radiactividad de una sustancia o reducir sus plazos, la tecnología para el manejo de la basura se ha concentrado en dos diferentes campos cuyo objetivo fundamental es la *estabilización* y el *aislamiento* de la basura. El primero tiene que ver con el desarrollo de técnicas para *caracterizar, separar, solidificar, compactar, empaquetar y depositar* los distintos tipos de desechos. El segundo, es la *limpieza y descontaminación* de lugares afectados por las actividades nucleares. Los avances en estos campos son diversos.

En la actualidad el Departamento de Energía maneja 36 millones de metros cúbicos de basura, 5 000 instalaciones activas, 15 000 instalaciones clausuradas,

79 millones de metros cúbicos de suelos contaminados y 2 mil millones de metros cúbicos de aguas subterráneas afectadas por las operaciones nucleares.⁹

El manejo de esta basura ha tenido algunos avances significativos desde el lanzamiento del Programa Cerrando el Círculo del Átomo. Por ejemplo ha detectado algunos de los sitios más contaminados por la dispersión de plutonio y uranio enriquecido. Ha establecido programas de rehabilitación ambiental y ha efectuado algunos inventarios de materiales. Sin embargo, estos avances tienen límites importantes. Por ejemplo, existen grandes lagunas en relación a la basura colocada en depósitos subterráneos.¹⁰

A continuación presentamos algunas de las técnicas más avanzadas que se están desarrollando para *estabilizar* la basura y algunas de las técnicas empleadas para las labores de limpieza y descontaminación.

8.3.3 Basura de alto nivel

La basura de este tipo se encuentra en estado sólido, coloidal, lodoso y líquido. Actualmente existen aproximadamente 90 millones de galones de *basura líquida de alto nivel*, almacenados en 300 tanques. Otra cifra habla de 20 000 toneladas métricas de este tipo de basura, almacenadas en los reactores de la industria nuclear civil y militar.¹¹ El Proyecto Científico de la Oficina de Mantenimiento Ambiental del Departamento de Energía ha establecido cinco principales necesidades a las que dirigirá las inversiones más altas para

⁹ (Fioravanti, 1997).

¹⁰ *Ibid.*

investigación y desarrollo relativas a la basura líquida. Algunos de sus objetivos consisten en : *Caracterizar, recuperar, tratar, colocar en nuevos tanques y dar mantenimiento a los viejos tanques.* La investigación se dividirá en 17 proyectos de investigación cuya realización implicará gastos equivalentes a 34.9 mil millones de dólares constantes.¹²

El Laboratorio Nacional de Idaho desarrolla uno de los más ambiciosos proyectos para modernizar el manejo de este tipo de basura. El laboratorio almacenaba 300 000 galones en un tanque subterráneo en 1997. Actualmente ha iniciado un proyecto integral para tratar la basura de alto nivel. La primera etapa será la construcción de varios tanques de vaporización para reducir el volumen de la basura. Posteriormente los desechos líquidos serán enviados a la Nueva Planta Calcinadora de Basura que convertirá los líquidos en granulos. Los granulos serán encapsulados en recipientes sólidos de acero inoxidable que posteriormente serán recubiertos de concreto.¹³

La solidificación concluirá en el año 2020. A partir de ese momento comenzarán a funcionar tres instalaciones más. La primera vitrificará los desechos líquidos producidos durante las operaciones de solidificación. La segunda tratará los filtros utilizados en las mismas tareas. La tercera se ocupará de los desechos sólidos generados antes y durante la solidificación. Finalmente una cuarta instalación se ocupará de la basura de bajo nivel generada durante las operaciones de limpieza.

¹¹ (Connor, 1995, p.6).

¹² (Idaho Operations Office, 1998).

¹³ (Idaho Operations Office, 1998).

De esta manera el proyecto integral implicará transformar la basura en formas más estables,¹⁴ reducir su volumen, empaquetarla para garantizar su aislamiento y repetir el procedimiento con la basura generada durante las operaciones de limpieza.

A pesar de estos avances el almacenamiento final ofrece problemas difíciles de resolver debido a que estos desechos deberán permanecer aislados por lo menos durante 10 000 años, por lo cual, deben tomarse en cuenta una gran cantidad de variables, para la ubicación, el diseño, la construcción, la operación y la supervisión de depósitos para ellos. El proyecto actual es concentrar los desechos de este tipo en el basurero de Yucca Mountain.

8.3.4 Basura Transuránica

Es difícil estimar el volumen actual de la basura transuránica por diversos factores. En primer lugar las dosis de radiación a partir de las cuales se considera que una sustancia es basura transuránica han cambiado varias veces a lo largo del tiempo. En 1970 la Comisión de Energía Atómica consideraba como basura transuránica a todas aquellas sustancias con más de 10 *nanocuries* de radioactividad y vidas medias de más de 20 años.¹⁵ En 1984 el DE elevó a 100 *nanocuries* las dosis de radiación para considerarla TRU. Este cambio redujo por decreto, el volumen de este tipo de basura. En segundo lugar, existen serias discrepancias en las cifras oficiales proporcionadas por el Cuartel General del DE

¹⁴ Al respecto el texto de Hench (1998) es fundamental.

y las diversas instalaciones donde se encuentra dicha basura. Por ejemplo, según el Cuartel General del DE, el laboratorio de Los Alamos almacenaba 610 kilos de plutonio entremezclado con la basura TRU. Sin embargo, según las autoridades del Laboratorio Nacional de Los Alamos la cantidad de plutonio era de 1375 kilos de plutonio. En tercer lugar, las cifras proporcionadas por una misma autoridad varían notablemente a lo largo del tiempo. Al respecto pueden citarse el caso de la información relativa a las instalaciones del complejo nuclear de Savannah River. Las autoridades de dichas instalaciones informaron en 1970 que 150 mil galones de basura líquida transuránica habían sido colocados en tanques subterráneos. Pero en 1997 informaron que los 40 mil galones de basura líquida transuránica que se habían depositado en tanques subterráneos serían trasladados a nuevos tanques. Por lo tanto existe una diferencia de 110 mil galones respecto a las cifras proporcionadas en 1970 y 1997¹⁶.

Uno de los avances más importantes en el manejo de la basura transuránica se ha dado en el terreno de su *caracterización*. A partir de 1994 se han desarrollado nuevas técnicas para caracterizar las sustancias transuránicas y para identificarlas cuando se encuentran mezcladas con otro tipo de basura. Algunas de las técnicas de caracterización más importantes se basan en la fotoemisión de rayos X (XPS p.s.i.) espectroscopía infraroja (IR), Defracción de Electrones de Baja Energía (LEED) y microscopía de búsqueda de tuneles (STM).¹⁷ Este tipo de técnicas ha facilitado la detección de sustancias TRUs en

¹⁵ En el mismo documento se estableció la obligación de almacenar la basura transuránica en sitios recuperables, es decir en almacenes.

¹⁶ (IEER, 1998)

¹⁷ (Hicks, 1996).

maquinaria, equipos y materiales usados para la fabricación de combustible nuclear o la generación de energía eléctrica.

En relación al tratamiento de la basura TRU las principales innovaciones se han dado en el desarrollo de técnicas para separar la basura transuránica de equipos, edificios y cables contaminados. La técnica más avanzada al respecto es *La Aplicación de Rayos de Plasma en condiciones de Presión Atmosférica* para separar la basura radioactiva de la cual hablamos al inicio de este párrafo. Esta técnica ha permitido reducir el volumen de la basura y separar la basura radioactiva de *bajo nivel* respecto a la basura TRU.

Sin embargo, el principal problema de la basura TRU continua siendo su depósito. El único proyecto para depositarla es el de Yucca Mountain de cuyos problemas hemos hablado ampliamente en el capítulo 7 de este texto.

8.3.5 Basura de Bajo Nivel

El monto de la basura de bajo nivel no ha sido claramente establecido. Parte importante de ella se encuentra en estado líquido. El procedimiento para manejar este tipo de basura consta de los siguientes pasos: la *separación de radiosótopos de alto nivel* o de otras sustancias distintas a la basura radioactiva; el vaciado de los tanques en los que se encuentra actualmente; la solidificación o vitrificación; la limpieza de los tanques desocupados; la transportación de la basura y su colocación en almacenes. Al igual que en otros casos, las técnicas de vanguardia para las diversas etapas del tratamiento de este tipo de basura son

muy variadas y se encuentran básicamente en estado de experimentación. A continuación describimos algunas de ellas.

La *separación* de la basura se realiza añadiendo compuestos químicos especiales en los tanques donde se encuentra la basura. Los compuestos provocan un proceso de hidrólisis a través del cual se separan las distintas sustancias para colectarlas en tanques separados. A través de esta primera fase se separan sustancias como: mercurio, compuestos orgánicos y basura estable. Diversos laboratorios del DE trabajan actualmente en el desarrollo de *técnicas de espectrometría* para caracterizar el contenido de los tanques. Paralelamente diseñan *fórmulas* para la producción de los compuestos utilizados para provocar la hidrólisis¹⁸. El siguiente paso después de la separación es la *solidificación* de los desechos de *bajo nivel*. Para ello, pueden emplearse dos procedimientos: la *calcinación* o la *vitrificación*. En ambos casos se utilizan procedimientos similares a los empleados con la basura de *alto nivel*.

El depósito de la basura de *bajo nivel* proveniente de la industria nuclear civil y militar se proyecta realizarlo en seis depósitos federales. El Basurero Nuclear de Sierra Blanca, Texas es el más avanzado en su realización.¹⁹

¹⁸ (Savannah River Office, 1998).

¹⁹ En julio de 1998 una Comisión de Asesores de la Comisión para la Conservación de los Recursos Naturales del Estado de Texas dictaminó que la construcción del depósito federal de Sierra Blanca Texas debería suspenderse por riesgos sísmicos y por su carácter discriminatorio. Sin embargo es muy probable que en agosto del mismo año, la Comisión apruebe definitivamente la construcción del basurero (D'Arrigo, 1998).

8.4. Una estrategia para desinventar las Sustancias Radioactivas de Alta Peligrosas (SRAPs)

8.4.1 Una estrategia para desinventar la basura nuclear

Diversos estudios de especialistas externos al DE han cuestionado la propaganda emitida por el Departamento de Energía en la que se sostiene la posibilidad **transmutar** la *basura transuránica* o de *alto nivel*, a basura de *bajo nivel*. En realidad, sostiene Fioravanti (1998) los procedimientos para remover plutonio u otros actinidos, reducen el volumen de la basura, separan los distintos tipos de desechos y los hacen más manejables. Pero, insisten, de ninguna manera revierten la radioactividad, sus plazos ni su peligrosidad.

Por estos motivos, éstos y otros autores han planteado la necesidad de desmantelar las condiciones (técnicas, institucionales, económicas y culturales) que han hecho posible la generación de nueva basura y han complicado el manejo de la basura existente. El desmantelamiento de estas condiciones implica la necesidad de modificar los criterios bajo los cuales se ha decidido el uso de la reacción en cadena, renovar las líneas generales seguidas para manejar la basura nuclear y perfeccionar las actividades de *restauración y limpieza ambiental*. Las propuestas en su conjunto *trazan algunas directrices de lo que podría constituirse como una estrategia alternativa orientada a desinventar las condiciones que permiten la generación de nueva basura y entorpecen la selección de técnicas apropiadas para estabilizar y aislar la basura existente*.

Aunque existe una amplia gama de autores que han formulado diversas críticas a la forma en que el Departamento de Energía maneja la basura nuclear,

el presente trabajo recoge fundamentalmente aquellas que además de su rigurosidad se orientan al desmantelamiento del régimen de excepción del que ha gozado la industria nuclear, así como aquellas encaminadas a suspender la generación de desechos, mejorar la selección de técnicas para manejar la basura nuclear y perfeccionar las actividades de limpieza y descontaminación. Entre los trabajos mencionados a continuación, prácticamente solo el realizado por el Instituto de Investigación sobre el Ambiente y la Energía (IEER p.s.i.) plantea una estrategia global. El resto contiene fundamentalmente propuestas particulares. Sin embargo, hemos agrupado éstas últimas en rubros específicos que permitan al lector vislumbrar las líneas principales de una alternativa general.

8.4. 2 La necesidad de suspender la generación de nuevos desechos

El primer gran problema es la necesidad de *suspender la generación de desechos*. En la actualidad, tanto la industria nuclear militar como la civil desarrollan actividades que generan nueva basura. Por esta razón es necesario que la industria nuclear militar suspenda la producción de material fisionable en grado nuclear y cese las actividades de investigación, desarrollo y experimentación de nuevos modelos de armas nucleares que producen basura; asimismo es importante que los excedentes de plutonio existentes en Estados Unidos (tanto los generados durante la Guerra Fría como los obtenidos por el desmantelamiento de las armas comprendidas por el Tratado Start I y los que pudieran firmarse en el futuro) sean conceptualizados como sustancias

radioactivas peligrosas que no serán utilizables en el corto y el mediano plazo.²⁰ Paralelamente es importante desarrollar técnicas adecuadas para minimizar la generación de nuevos desechos durante las operaciones de limpieza y restauración ambiental, de las instalaciones del complejo nuclear militar.

En el caso de la industria nuclear civil es imprescindible asumir el impacto que ésta ha tenido en el medio ambiente y detener la tendencia a reimpulsar la generación de energía eléctrica con medios nucleares. En la actualidad la Agencia Internacional de Energía Atómica (AIEA) -en cuyo seno tiene una gran influencia el gobierno estadounidense- ha lanzado una fuerte campaña para iniciar un nuevo período de expansión comercial. Con este objetivo, la AIEA ha planteado que la industria nuclear es una tecnología limpia cuyo uso generalizado permitiría reducir la emisión de gases invernadero.

Sin embargo según señala Makhijani (1998) la sustitución del uso de hidrocarburos por energía nuclear para la generación de energía eléctrica requeriría de la construcción de 2 000 plantas nucleares (de 1 000 megawatts c/u). Esto implicaría generar alrededor de 20 000 toneladas cúbicas de plutonio para mediados del próximo siglo. Adicionalmente produciría una cantidad extraordinaria de combustible quemado y de otros tipos de basura.²¹

En ese sentido es imprescindible impedir el éxito de la campaña promovida por la AIEA para flexibilizar la regulación internacional sobre radioactividad y

²⁰ Asimismo debe sustituirse el concepto de *disuasión* como un concepto clave de la Seguridad Nacional estadounidense en función de los graves daños ocasionados por la existencia de los arsenales. La mayoría de las propuestas aquí mencionadas fueron formuladas por la (Special Commission of International Physicists for the Prevention of Nuclear War y el Institute for Energy and Environmental Research, 1995)

²¹ (Makhijani, 1998, pp 1, 14-15)

reducir las dosis máximas admisibles para el ser humano. Del mismo modo, es importante frenar la tendencia a trasladar las instalaciones nucleares a países en vías de desarrollo. Complementariamente deben sustituirse la utilización de radioisótopos peligrosos en la industria médica, en todos aquellos casos en los que sea posible reemplazarlos, por radioisótopos con vidas medias más cortas o con menores niveles de radioactividad.

Otro elemento importante es asumir los vínculos existentes entre la industria nuclear civil y militar, pues tal como se ha demostrado en el caso de todos los países poseedores no oficiales (India, Pakistán, Israel y Sudáfrica) el empleo de la tecnología nuclear civil, es uno de los caminos para la proliferación de países poseedores de armas nucleares. Por lo tanto, su utilización implica el riesgo de una *proliferación latente*. Es en ese sentido que el tema de la basura nuclear está íntimamente ligado con la necesidad de promover una nueva política energética y desarrollar tecnologías como: la eólica, la cogeneración, el combustible celular y el uso de gas biológico natural.

8.4.3 El desmantelamiento del régimen de excepción de la industria nuclear

Un segundo paso para la instrumentación de una estrategia alternativa en relación a los desechos, radica en el mejoramiento de las actividades de manejo y depósito de la basura existente. En ese sentido, es indispensable desmantelar el *régimen de excepción* del que ha gozado la industria nuclear. Por ejemplo, es importante que una nueva institución independiente al Departamento de Energía, establezca procedimientos para el manejo de las sustancias radioactivas y ejecute

la limpieza de los lugares afectados por las actividades nucleares. Estas tareas podría desempeñarlas la Agencia de Protección Ambiental siempre y cuando la Comisión Reguladora Nuclear eleve sus parámetros de eficiencia.

Por otra parte es importante la creación de un Comité Asesor sobre Mantenimiento de la Basura y Limpieza Ambiental que revise los proyectos relativos a la basura nuclear y garantice parámetros de calidad adecuados, imparcialidad en el otorgamiento de contratos y periodos de investigación y experimentación suficientes antes de que las técnicas para el manejo de la basura sean implementadas a escala industrial. Este comité podría crearse en base a la Ley de Comités de Asesoría Federal ²².

8.4.4. La necesidad de investigar el impacto de los desechos

8.4.4.1 La salud de los trabajadores de la industria nuclear

El tercer paso es la realización de una investigación integral y a fondo sobre el impacto de los desechos nucleares. Por ejemplo, deben investigarse sus efectos en la salud de los trabajadores de la industria nuclear. *El DE ha reconocido oficialmente la participación de entre 500 000 y 600 000 trabajadores en tareas relacionadas con el complejo nuclear militar. Sin embargo, no cuenta con los datos necesarios para valorar los riesgos a los que fueron expuestos. Por citar un caso, no existen los datos necesarios, para estimar las dosis de radiación interna (es decir la dosis de radiación provocada por la inhalación o ingestión de gases o partículas radioactivas, al pasar saliva) a la que fueron expuestos los*

trabajadores y consecuentemente no puede valorarse objetivamente el nivel de riesgo al que fueron sometidos.²³

Según un documento del DE dirigido al Instituto de Investigaciones Ambientales y de Energía (IEER psi.) y fechado el 17 de abril de 1997, no existen datos sobre las *dosis internas* de radiación, de los trabajadores del complejo nuclear. A pesar de que desde la década de los años cincuentas, existían diversas tecnologías para efectuar este tipo de mediciones, éstas se practicaron sólo ocasionalmente y durante períodos muy cortos de tiempo. De hecho, a lo largo de cincuenta años, los trabajadores solo fueron dotados con detectores de rayos gama, tarjetas de película fotográfica y detectores termoluminescentes, para medir la radiación externa, pero ninguno de estos instrumentos les permitía medir las dosis internas. Por este tipo de omisiones se puede concluir que la seguridad de los trabajadores fue superficial y prácticamente se redujo, a tomar ocasionalmente, algunas muestras de orina, y sólo en muy pocos casos, se emplearon detectores de radiación de cuerpo completo.

Lo menos que se puede decir al respecto, es que los trabajadores no fueron adecuada y suficientemente informados sobre los riesgos a los que estuvieron expuestos. Si embargo, los escasos y aislados estudios existentes sobre la radiación interna a la que fueron sometidos los trabajadores de la industria nuclear, revela datos francamente alarmantes. Por ejemplo, en 1955 el 90% de los trabajadores de Fernald, Ohio, mostraron dosis de hasta 15 rems en los pulmones. Para valorar lo que esto significa debe decirse que las normas internacionales

²² (INEER, 1998)

²³ (Bernd, 1997).

vigentes prohíben dosis mayores a 5 rems anuales. Es aterrador pero no es extraño. Los expedientes médicos de los trabajadores de Fernald, revelan que las medidas adoptadas para medir la *radiación interna* fueron muy precarias: no se tomaron medidas para detectar la presencia de numerosos radionucleidos, la recolección de datos fue poco consistente y no se estableció una relación entre el momento de la exposición y el momento en que se realizaron las pruebas de orina.²⁴ La radiación externa tampoco fue medida con precisión. Los datos existentes son incompletos e inconsistentes, comenzando por las diferencias entre las cifras impresas y las electrónicas de la información proporcionada por el DE.

Por todas estas razones es importante *realizar una investigación integral sobre la salud de los trabajadores y los riesgos a los que han estado expuestos*. La investigación debe incluir un vasto estudio epidemiológico a cargo de una institución independiente de las instituciones atómicas (podría ser por ejemplo el Instituto Nacional para la Seguridad y la Salud Laboral).

Asimismo, deben unificarse los criterios para el diseño de investigaciones de campo, tomar en cuenta las diferencias entre una instalación y otra, incrementar el tipo y las dosis de radiación a tomarse en cuenta, incluyendo datos sobre *dosis internas y acumuladas*, y tomar en cuenta un mayor número de variables, como las dosis individuales así como contemplar que la radiación provoca un mayor número de enfermedades que las consideradas hasta ahora.²⁵

²⁴ (Bernd, 1997).

²⁵ (Special Commission of International Physicians for the Prevention of Nuclear War, 1995, p 282).

8.4.4.2 Los daños a comunidades locales

Por otra parte es indispensable estudiar los daños provocados a numerosas comunidades afectadas por las actividades nucleares. Por ejemplo, un estudio realizado por el Instituto Nacional del Cáncer, hecho público en octubre de 1997, reveló que las pruebas nucleares en la atmósfera; dispersaron alrededor de 130 millones de Curies de radioactividad, mientras el accidente de Chernobyl dispersó 7.3 millones. El sistemático escamoteo de información al respecto ocasionó que: ¡decenas de miles de niños estadounidenses recibieran dosis de entre 50 y 160 rads, por la ingestión de leche contaminada!²⁶

La magnitud de los daños provocados por el estudio del Instituto Nacional del Cáncer y otras instituciones confirma la necesidad de: Identificar, estudiar, atender y apoyar a las comunidades expuestas a la radiación artificial.²⁷ Lo más recomendable sería que las organizaciones, instituciones y especialistas externos a la industria nuclear intervinieran en el diseño y la realización de esta investigación. Los investigadores que participen en esta tarea deberán contar con pleno acceso a los archivos del Departamento de Energía. Además es muy importante que la investigación valide los datos existentes, y en todos los casos

²⁶ (National Cancer Institute, 1997). A pesar de que la Comisión de Energía Atómica tenía suficiente información sobre la dispersión de contaminantes, como para advertir el peligro, continuó con su programa de pruebas atómicas durante varios años más. Lo anterior es demostrado, porque diversas compañías fotográficas -entre ellas la Kodak - fueron notificadas con anticipación, sobre las detonaciones nucleares y la posibilidad de que estas causaran daños en sus películas y equipos, a pesar de que se ubicaban en puntos muy lejanos a los campos de pruebas (U.S. Atomic Energy Commission, 1952).

²⁷ Otro caso particularmente importante es el de las personas que han formado parte de los experimentos con humanos. El reporte entregado a Bill Clinton por el Comité de Asesores Presidenciales sobre los Experimentos con Humanos en octubre de 1997, no recomienda seguimiento médico ni indemnización económica para las personas afectadas por este tipo de

necesarios realice nuevas investigaciones para suplirlos o complementarlos, cuando no resulten suficientemente confiables.²⁸

La investigación debe recabar información respecto a las rutas de las nubes radioactivas y sus efectos (como las *manchas calientes*, sus de radiación y la geografía de las *dosis acumuladas*). *En esta investigación retrospectiva es muy importante que se haga un seguimiento de las nubes radioactivas provenientes del campo de pruebas de Nevada que cruzaron la frontera con México.*

En un sentido similar es necesario que la industria nuclear suspenda las prácticas discriminatorias consistentes en ubicar las actividades más peligrosas y contaminantes, y los proyectos para la construcción de depósitos de basura, en lugares habitados por minorías y sectores pobres de la población. Consecuentemente debe recabarse información sobre el impacto de las actividades nucleares entre las comunidades indias de Estados Unidos.²⁹ *Complementariamente es necesario que se haga pública, la información sobre aquellas actividades y operaciones que hayan afectado a terceros países. Ese es el caso de la contaminación generada en el Pacífico Sur. También en ese caso se encuentran las actividades que han provocado daños a México.*

Estas medidas deben complementarse con otras que garanticen la libertad de información. Por ejemplo es necesario establecer un sistema de información pública a cargo de la ONU que permita el acceso universal, a la información sobre los efectos de la detonaciones atmosféricas y subterráneas; Promover la

actividades El Comité era presidido por Ruth Faden de la Universidad John Hopkins. Macilwain, en 1997. (Colin, 1997, p 470).

²⁸ (International Physicians for the Prevention of Nuclear War, 1992) y (Makhijani, 1995).

²⁹ (Makhijani, 1991).

participación pública en la discusión, el diseño, la supervisión y la toma de decisiones referente a la limpieza del complejo nuclear, a partir del libre acceso a la información.

Solo bajo estas condiciones sería posible valorar adecuadamente el impacto de las actividades nucleares y determinar el tipo de técnicas que se requieren para manejar la basura nuclear y desarrollar las actividades de limpieza y restauración. Estas medidas son una premisa para establecer nuevos niveles de seguridad.

8.5. Reorientación de las técnicas para manejar las SsRAP

8.5.1 Criterios generales para reorientar el manejo de las SsRAP

La diversidad de estados y características físicas de los diferentes tipos de basura nuclear obliga a desarrollar técnicas específicas para cada uno de los distintos tipos de basura (TRU, de alto nivel, de bajo nivel, desechos mineros y combustible quemado)³⁰. Sin embargo, casi todos los tipos de desechos requieren de procesos similares: clasificación, separación, estabilización, empaquetamiento, transporte y depósito. El problema es que muchas de las técnicas para desarrollar estas fases son inadecuadas por problemas más o menos comunes. Por ejemplo, actualmente existe poca coordinación sobre el manejo, limpieza y descontaminación. Asimismo casi todas las técnicas para el manejo de los

³⁰ Este capítulo únicamente describe algunas de las técnicas de vanguardia utilizadas en el manejo de la basura y las tareas de limpieza: Por lo cual se trata fundamentalmente de un muestrario y no de un compendio completo de todas las tecnologías y todos los tipos de basura.

distintos tipos de basura han pasado por períodos muy cortos de experimentación antes de ser implantados a escala industrial.

Esta situación ha provocado que las técnicas se han seleccionado a partir de datos incompletos o poco sólidos; sin coordinación entre las diferentes fases del proceso (por ejemplo la selección de materiales de empaquetamiento y las características del ambiente físico en que serán depositadas. Aunados a estos factores, muchas de las técnicas generan grandes cantidades de nueva basura, durante las labores de limpieza.

En otros casos las técnicas escogidas no han tomado en cuenta determinado tipo de emisiones. Por ello, es importante que se establezca una mayor coordinación entre las labores de mantenimiento y limpieza ambiental y que se mejore el proceso de selección de técnicas.

8.5.2 Los desechos radioactivos de alto nivel

8.5.2.1 Handford ilustra los errores del DE

Para ilustrar la necesidad de reorientar las técnicas usadas en el manejo de la basura de alto nivel puede analizarse el caso de los desechos almacenados en Handford. Hasta el momento el DE ha priorizado la estabilización y solidificación de la basura líquida que se encuentra en los tanques. Sin embargo, debido a la existencia de fugas en los tanques y que éstos han derramado grandes cantidades de basura líquida hacia el subsuelo, la prioridad debería ser el brindar protección a la zona vadosa, compuesta por los suelos ubicados entre los tanques de almacenamiento y los mantos acuíferos subterráneos.

Por otra parte el Departamento de Energía aprobó la construcción de una planta de vitrificación sin haber realizado un estudio para garantizar que efectivamente se trataba de la técnica más eficiente. La planta de vitrificación de Handford es una copia de la planta construida en Savannah River. En primer lugar debe decirse que la planta de Savannah se construyó sin realizar pruebas piloto. Adicionalmente la basura almacenada en Hanford es más compleja y variada que la almacenada en Savannah River. Pues mientras Handford contaba con varios tipos de plantas de reprocesamiento, en Savannah sólo operó un tipo de planta. A esta situación debe agregarse que la basura de Handford tiene una composición distinta a la Savannah, porque en la primera fue mucho más común el uso de ferrocianuros.

La vitrificación puede ser una solución adecuada para la solidificación y estabilización de la basura de alto nivel, pero ello no está garantizado *a priori*. Es posible que sea más conveniente el encapsulamiento en cerámicas especiales. Por esta razón, sería mucho mejor construir una planta calcinadora para estabilizar la basura de Handford mientras se investiga seriamente cual es la mejor opción entre la vitrificación o el encapsulamiento en cerámicas.

8.5.2.2 Restablecer las prioridades y reorientar las técnicas en Handford

En base a estas consideraciones se puede concluir que el primer paso que tendría que tomarse es vaciar completamente los tanques de una sola esfera, desactivarlos y remediar la zona vadosa. En ese sentido es correcto y debe continuarse enviando la basura de los tanques simples hacia los tanques de doble

esfera. Sin embargo sería incorrecto dejar la basura de bajo nivel en los tanques - como lo ha proyectado el DE- mientras no se haga una caracterización capaz de garantizar que efectivamente esa basura, contenga exclusivamente radiosótos de bajo nivel y hasta que no se determine científicamente, si esa es la mejor manera de almacenarlos.

El siguiente paso debería ser caracterizar la contaminación y la migración de basura líquida de la zona vadosa. El tercer paso, debería ser el desarrollo de dos programas: uno de calcinamiento y otro de previtrificación. El primero permitiría optar por el encapsulamiento en cerámica o vidrio, mientras el segundo ofrecería la oportunidad de investigar qué tipo de vitrificación es el más adecuado para el lugar donde se vayan a almacenar los desechos.

Una siguiente etapa debería ser la instauración de un programa piloto para experimentar y desarrollar todo tipo de formas de solificación, para la basura peligrosa no-radioactiva. Finalmente debería emprenderse un programa de experimentación de técnicas para la descontaminación y desactivación de bombas, pipas de transferencia y otros equipos altamente contaminados.

A lo largo de estas diferentes fases es importante establecer niveles de seguridad más altos que garanticen la salud de los trabajadores y de las comunidades cercanas a las nuevas instalaciones.

8.5.2.3 El depósito de los desechos de alto nivel

En lo que respecta al almacenamiento, según la Ley sobre la Basura Nuclear, aprobada en 1982 y modificada en 1987, Yucca Mountain es el único

lugar donde se realizan estudios de factibilidad para la instalación de un basurero de ese tipo. Sin embargo, dicho sitio no satisface los requerimientos de confiabilidad técnica y aceptación social, establecidos por la ley. Los estudios de exploración del lugar implicaron un gasto de 6 000 millones de dólares durante 1996. Pero lo más probable es que el proyecto fracase, por una serie de incertidumbres técnicas y la oposición de los habitantes de Nevada. Sin embargo la política del Departamento de Energía ha consistido en utilizar los estudios exploratorios como pretexto para avanzar *de facto* en la construcción del basurero, como lo indican las instrucciones giradas en abril de 1997 para excavar un nuevo túnel en el lugar, a pesar de que los túneles existentes brindan las condiciones necesarias, para continuar con la fase experimental ³¹.

Por lo tanto, el Congreso debería elaborar un nuevo programa de almacenamiento. Es necesario emprender un nuevo programa de exploración de sitios, métodos de empaquetamiento y diseño de los depósitos. El nuevo programa debe tomar en cuenta aspectos como la necesidad de que la exploración sea realizada por una institución independiente al DE.

Asimismo debe mantenerse la libertad de información necesaria para que la comunidad científica puede debatir sobre el asunto. La información disponible debe brindarse también a las posibles comunidades involucradas por la selección de los sitios, para que éstas puedan valorar las ventajas y desventajas de una construcción de este tipo.

³¹ (Flynn James, s.f. pp 6-11)

8.5.3 La basura transuránica (TRU)

La tecnología para manejar la basura TRU debe desarrollarse en función de nuevos objetivos y prioridades. En primer lugar debe considerarse como basura TRU a todas aquellas sustancias que emitan entre 10 y 100 nanocuries por gramo, tal como se hizo hasta mediados de los años setentas y no solo aquella que emite más de 100 nanocuries como se ha hecho durante los últimos veinticinco años.

En segundo lugar es necesario establecer nuevas prioridades. Estos podrían ser entre otras: descontaminar las instalaciones, proteger a largo plazo los mantos acuíferos subterráneos, colocar los desechos enterrados en formas estables y recuperables, y solidificar los desechos. En ese sentido, sería más correcto anteponer la recuperación de la basura transuránica que se encuentra en depósitos subterráneos sobre el tratamiento de aquella que se encuentra almacenada en tanques. Esta es una demostración de la necesidad de coordinar las labores de mantenimiento con las de limpieza ambiental. Integrar las técnicas de limpieza y tratamiento, es una necesidad, pues actualmente se desarrollan en forma paralela y sin coordinación.

En tercer lugar es necesario desarrollar un plan auténticamente integral. Priorizar la recuperación de la basura colocada en depósitos subterráneos. Cuantificar la basura TRU enterrada (particularmente en Idaho). Proteger los mantos acuíferos del subsuelo y de superficie. Estimar y remediar la contaminación de suelos provocada por la basura enterrada. Colocar la basura proveniente de depósitos subterráneos y suelos en formas recuperables. Continuar desarrollando tecnologías de excavación remota para rescatar los

suelos y evitar riesgos a los trabajadores. Acelerar el tratamiento de la basura orgánica de alta toxicidad, metales pesados y sustancias de mayor radioactividad que se encuentra mezclada con la basura TRU.

Los estándares de limpieza deben ser homologados con los establecidos a nivel nacional para la protección de los recursos hidráulicos. Las dosis de radiación deben tener un máximo de dos millirems anuales y dosis de exposición individual de máximo 10 millirems. Al mismo tiempo debe garantizarse que no existan riesgos de cáncer por encima del promedio nacional. Asimismo deberán elaborarse tablas que contemplen la interacción entre sustancias radioactivas y no-radioactivas³².

El desarrollo de nuevas técnicas para tratar la basura debe formar parte de un plan integral en el que se incluya la investigación y decisión del lugar donde serán depositados, pues de otra manera no se puede investigar la interacción entre los materiales que serán utilizados para el empaquetamiento de la basura y las condiciones del medio ambiente en el que permanecerán durante miles de años.

Buena parte de las técnicas que el Departamento de Energía está utilizando para recuperar, separar, estabilizar, solidificar y empaquetar la basura transuránica y la basura de bajo nivel tienen como premisa la aprobación definitiva del Proyecto Piloto de Aislamiento de Basura en Carlsbad, Nuevo México, para la basura TRU y el Depósito de Yucca Mountain para los desechos de alto nivel y el combustible quemado. Esta suposición es errónea. No existe ninguna garantía de

³² (Saleska, 1992)

que ambos depósitos son los sitios idóneos³³. Adicionalmente, el Proyecto Piloto de Aislamiento de Basura (PPAB) no cuenta con la capacidad de almacenamiento suficiente para recibir la basura transuránica que se encuentra enterrada.

8.5.4 La basura radioactiva de alto nivel

8.5.4.1 ¿Qué basura debe clasificarse como de bajo nivel?

El manejo de la basura radioactiva de bajo nivel requiere de cambios drásticos. La actual clasificación utilizada por el Departamento de Energía considera a una sustancia como basura de bajo nivel a toda aquella sustancia radioactiva que pertenezca a otra categoría. Esta clasificación es inadecuada porque no toma en cuenta, la duración de las vidas medias de los desechos, ni su peligrosidad para el ser humano y el medio ambiente. Además dicha clasificación desconoce la presencia de radiosótopos que por su peligrosidad, dosis de radiación y duración de sus vidas medias deberían ser considerados como basura de alto nivel aunque se encuentran mezclados con la basura de bajo nivel.

Ante esta situación es importante sustituir la clasificación empleada por el DE, por otra basada en la duración de la vida radioactiva y en la peligrosidad de los desechos. Asimismo deben utilizarse nuevas categorías dentro de la basura de bajo nivel y establecer mecanismos para diferenciar entre los desechos radioactivos con distintos plazos de peligrosidad.³⁴

³³ Ibid.

³⁴ (Saleska, 1992).

La nueva clasificación debe tomar en cuenta la necesidad de establecer nuevos límites de dosis admisibles para los trabajadores y la población en general. Actualmente existe una importante polémica respecto a cuáles deben ser estos los límites máximos. La Comisión Internacional de Protección sobre la Radiación (ICRP p.s.i.), planteó en 1990, la necesidad de reducir dichos límites de 5 rems a 2 rems anuales en el caso de los trabajadores y de 5 rems a 1 rem, para la población en general.³⁵ Según diversos laboratorios, empresas e institutos de investigación -comprometidos con la industria nuclear, esta medida sería innecesaria porque no es posible probar daños en sujetos expuestos a dosis menores a 5 rems a menos que se especule. Pero esta postura desconoce los resultados de investigaciones clásicas y recientes. Por ejemplo, el estudio realizado por Stewart (1970) descubrió que un 40% de los hijos de madres que habían sido expuestas a dosis de entre 1 y 2 rems contrajeron leucemia. Un estudio más reciente, realizado en 1995 y que incluyó siete investigaciones independientes reveló que existe un incremento significativo de cáncer de tiroides en individuos expuestos a dosis de entre 0.1 y 1 rem.³⁶

Por otra parte es necesario señalar que actualmente existe consenso entre los radiólogos del mundo respecto a que la radiación afecta la capacidad de reconstrucción de las células, por los daños que provoca el núcleo celular. Por lo tanto, es un posible detonante de cáncer. Según recientes investigaciones realizadas por Resnikoff, las dosis recibidas por radiación artificial deben sumarse a las dosis de exposición provenientes de la radiación natural y a las dosis

³⁵ (International Commission on Radiation Protection, 1990).

³⁶ Citado en (Stather, et al., 1995, pp8-12)

aleatorias o ambientales. Esto es así, debido a que por ejemplo un ciudadano estadounidense, se encuentra expuesto a una dosis promedio de 5 rems al año, por la suma de los rayos cósmicos, la presencia de radón en el ambiente y en construcciones públicas, la existencia de radionucleidos en el suelo y en los alimentos, el humo del cigarro, el empleo de radiografías y la propia radioactividad del cuerpo humano. Complementariamente, el Comité Científico sobre Efectos de la Radiación Atómica descubrió recientemente que la capacidad del DNA para reaccionar positivamente a una primera exposición (el llamado *efecto adaptativo*), se pierde al estar expuesto a dosis sucesivas.³⁷

La nueva clasificación debe tomar en cuenta estos descubrimientos recientes tanto para el manejo de la basura radioactiva de bajo nivel, como para otras actividades y normas de la industria nuclear.

8.5.4.2 Los depósitos de Desechos Radioactivos de Bajo Nivel

También es necesario modificar diversos aspectos relacionados con los depósitos para la basura de bajo nivel³⁸. Los basureros actuales son inadecuados porque no establecen procedimientos para detectar y en su caso separar contaminantes de alta radioactividad que se encuentran mezclados con la basura de bajo nivel -como es el caso del plutonio-239 que será peligroso, durante plazos

³⁷ (Resnikoff, 1997, pp 52-56).

³⁸ Por ejemplo las fugas de tritio detectadas en el Laboratorio Nacional de Brookhaven en febrero de 1997 motivaron la realización de varios estudios, cuyos resultados han resultado sorprendentes. Por ejemplo, los científicos de Brookhaven han sido capaces de descubrir un mesón de menos de 10-13 cm pero fueron incapaces detectar una fuga de entre 10 y 35 litros diarios de tritio localizada la piscina de uno de sus reactores y cuyos efectos han provocado la presencia de tritio en peces (Mukerjee, 1998).

muy largos y que frecuentemente se encuentra mezclado, con la basura de bajo nivel. Consecuentemente el plazo de cien años establecido por la Comisión Reguladora Nuclear, para la supervisión institucional de los basureros para este tipo de basura, es inadecuado.

Por otra parte es necesario cancelar los proyectos de construcción de nuevos depósitos de basura, hasta separar los desechos radioactivos con largas vidas medias o en el peor de los casos diseñar depósitos para vidas útiles más largas. Por estas razones debe suspenderse el plan de colocar este tipo de desechos en las instalaciones del Proyecto Piloto de Aislamiento de Basura³⁹ ubicado en Carlsbad, Nuevo México.

Adicionalmente, la deficiente clasificación, el diseño para vida útiles demasiado cortas y los bajos estándares de calidad impuestos por la Agencia de Protección Ambiental y la Comisión Reguladora Nuclear han provocado constantes incrementos en el costo del manejo de los desechos y obligarán a aumentar las erogaciones, cuando venza el plazo de cien años para el cual se han construido los depósitos.

La ubicación de los depósitos también debe ser revisada. Algunos de los lugares donde se proyecta instalar estos basureros son completamente inadecuados. Resulta particularmente importante la cancelación y reubicación del basurero ubicado en Sierra Blanca Texas. , a 26 kilómetros de la frontera con México. El Senado estadounidense aprobó en octubre de 1997 el permiso para que éste reciba basura procedente de Texas, Maine y Vermont.⁴⁰

³⁹ (Saleska, 1992).

⁴⁰ (Betancourt, 1998).

8.6. ¿Qué debe hacerse con el combustible en grado nuclear obtenido del desmantelamiento de las bombas?

8.6.1 El desmantelamiento de cargas nucleares

Uno de los debates más importantes sobre el futuro de la industria nuclear gira en torno al tema de cómo se deben considerar las aproximadamente 2 000 toneladas de plutonio existentes en el mundo. Algunos autores sostienen que deben conceptualizarse como *material fisionable en grado nuclear* y por lo tanto deben almacenarse en sitios de fácil y rápida recuperación para que puedan ser usados para la fabricación de nuevas armas nucleares en el futuro. Otros autores sostienen que deben considerarse como *combustible para la generación de energía eléctrica*. Una tercera postura considera que deben considerarse como *sustancias sumamente peligrosas y no utilizables* en el corto y el mediano plazo como combustible. Una cuarta posición considera que deben ser consideradas como *basura nuclear*.

Es muy probable que el destino final de éstos excedentes dependerá de la decisión que se tome en un futuro próximo, respecto a una parte de esas 2 000 toneladas, compuesta por el plutonio obtenido del desmantelamiento de armas nucleares. A raíz de los acuerdos INF, Start I y Start II (aunque este último no ha sido ratificado por Rusia) Estados Unidos y Rusia han desmantelado una pequeña parte de sus armas nucleares estratégicas. El *material fisionable en grado nuclear* obtenido del desmantelamiento se compone de plutonio y uranio enriquecido. El material fisionable forma parte de un importante debate respecto a cómo debe ser considerado y que técnica deberá utilizarse para almacenarlo o usarlo. Veamos

cual es el procedimiento para desmantelar un arma nuclear y cuáles serían las opciones respecto al destino del plutonio obtenido de ellas.

El procedimiento para desmantelar una carga nuclear es a grandes pasos el siguiente: Se construye una instalación específica para verificar el desmantelamiento de las cargas. El país poseedor de la carga se encarga de controlar físicamente el corazón de dicha instalación, mientras su contraparte, el país que en este caso funge como supervisor, instala sistemas de detección y control de puertas en los alrededores. Las cargas que se van a desmantelar son marcadas con una *huella digital* al ingresar a la instalación.⁴¹ El país poseedor desmantela la carga en el interior de la instalación. Posteriormente el país poseedor saca la carga y el país observador se asegura de que coincidan la huella digital tomada al ingresar la carga con la cantidad y el material fisionable mostrado a la salida.

La construcción de instalaciones para desmantelar las cargas nucleares también ha formado parte de un importante debate. La gran mayoría de las instalaciones utilizadas para producir armas nucleares no sirven para efectuar el desmantelamiento, ni para procesar o almacenar el material fisionable desmontado de las armas nucleares. Esta situación ha obligado a construir instalaciones específicas para el desmantelamiento de las bombas, y el problema es que éstas instalaciones generan importantes cantidades de basura. Además,

⁴¹ El marcaje puede realizarse mediante tres métodos: a) pesar y analizar los radioisótopos de la carga b) cuantificar sus emisiones de rayos alpha y/o neutrones y c) realizando una radiografía computarizada de la misma. Los métodos "a" y "c" tienen serias limitaciones porque pueden utilizarse para espiar el diseño e inferir el tipo de uso al que se destinaba la carga, por esta razón ambos métodos han sido frecuentemente rechazados por el país que realiza el desmantelamiento. El método más usado es una combinación del "b" y "c". Las emisiones de rayos alpha y neutrones

como las cargas se encuentran dispersas en diversos lugares del planeta, su traslado a los pocos sitios donde pueden efectuarse este tipo de operaciones ofrece riesgos adicionales.

8.6.2 Cómo procesar el combustible en grado nuclear

El paso siguiente depende de la decisión que se haya tomado respecto a ¿qué deberá hacerse? con el material fisionable (uranio enriquecido o plutonio) obtenido de las cargas desmanteladas. Este ha sido el más conflictivo de todos los pasos, por la trascendencia que tienen las diversas opciones. En el caso del uranio enriquecido, éste puede ser desenriquecido y usado en reactores civiles o depositado como basura.⁴² El plutonio obtenido del desmantelamiento puede almacenarse en varias formas posibles o reutilizarse inmediatamente como combustible para la generación de energía eléctrica. En caso de que se decida almacenarlo la forma en que se procese puede determinar si se almacena como: basura para que no sea reutilizable nunca en ninguna forma; combustible en grado nuclear para que pueda utilizarse en el futuro para la producción de armas; combustible diluido y utilizable exclusivamente para la generación de energía eléctrica.

Los criterios para seleccionar alguna de estas opciones depende de diversas cuestiones: el tipo de basura, el lugar donde será depositado, etc. Cada uno de estos aspectos ha sido objeto de una intensa polémica, respecto a cuál de

se realizan con un detector construido a base de una Centelleador de Germanio Altamente Puro. (Federation of American Scientists, 1991, p 30).

las posiciones ofrece mayores ventajas para la seguridad mundial, la disminución de costos y la reducción de riesgos para la salud y el medio ambiente.

En las tres distintas formas en que podría almacenarse se requeriría procesarlo. Dependiendo de la opción que se haya escogido el procesamiento sería diferente. Si se decide almacenarlo como basura, ello implicaría algunas complicaciones para su manejo y no existiría la opción de volver a utilizarlo en el futuro. Si se decide almacenarlo como combustible en grado nuclear deberá mantenerse en forma pura y encapsularse en vidrio cerámica o metal. Si se decide almacenarlo en forma que sea reutilizable como combustible el procedimiento que se requeriría sería más o menos el siguiente.

En primer lugar debería diluirse en alguna sustancia para evitar que pueda ser reutilizado inmediatamente para la producción de armas (en caso de que así lo decida algún estado o de que sea robado por algún grupo terrorista). Posteriormente el plutonio debe encapsularse en alguno de los siguientes materiales: cerámica, metales o vidrio. Esta opción permitiría recuperarlo en el futuro. Dependiendo de la forma en que el plutonio sea procesado existe la posibilidad de mantenerlo en condiciones de servir para la producción de armas nucleares en el futuro o diluirlo a tal grado que resulte útil exclusivamente para usarse como combustible para la generación de energía eléctrica.⁴³

En caso de que se decida utilizarlo inmediatamente como combustible, lo más recomendable sería tomar las medidas necesarias para evitar que vuelva a utilizarse en armas nucleares, por algún estado o grupo terrorista. Para cumplir

⁴² Cfn. Kory (1996) y Hippel (1993).

⁴³ (Makhijani, 1995).

con ambos objetivos existe la posibilidad de diluirlo, mediante su combinación con uranio desenriquecido. Para ello debería purificarse y convertirse en óxido.

Sin embargo en ese caso existirían una serie de problemas. La conversión de 30 toneladas cúbicas de uranio generaría entre 800 000 y 900 000 litros de basura líquida con una dosis de radiación de entre 20 y 30 picocuries por litro. Además sería necesario construir nuevas instalaciones para diluirlo. Adicionalmente ese combustible no podría utilizarse en cualquier tipo de reactor. Únicamente podría emplearse en reactores tipo Light Water Reactor, de los cuales sólo existen 3 en Estados Unidos. De cualquier manera estos reactores no fueron específicamente diseñados para utilizar plutonio por lo que resultarían inseguros o tendrían que realizarse importantes inversiones para compensar los nuevos riesgos.

En caso de utilizar el plutonio desmantelado de las bombas, como un combustible de uso inmediato existirían otros inconvenientes. La tecnología empleada por Estados Unidos requería de importantes inversiones en investigación y desarrollo si elige esta alternativa influiría en el tipo de tecnología seleccionada por otros países, añadiendo un problema adicional: la continuación de un ciclo contaminante y el peligro de su reutilización militar. Muchos países no cuentan con los reactores tipo LWR que les permitiría utilizar el plutonio como combustible. Finalmente, suponiendo que se superaran todas estas dificultades, una vez que el plutonio fuera utilizado como combustible, persistirían importantes concentraciones de ese material, en un porcentaje de entre 1.6 y 6.8% en el

combustible quemado, por lo tanto persistiría el problema de encontrar una forma adecuada de depositarlo⁴⁴.

Por todas estas razones *la opción más recomendable es la de diluirlo y encapsularlo* parece evitar que sea reutilizado en el corto plazo para fines militares y garantizar que pueda ser utilizado como combustible en el futuro. Esta solución: permitiría contar con combustible para el futuro, en caso de que no se desarrollen formas alternativas de energía. Además evitaría el riesgo de su reutilización para fines militares y pondría numerosos obstáculos para divertirlo.

8.6.3 Combustible, proliferación y generación de energía eléctrica

Para finalizar es necesario comentar algunos aspectos relacionados con los excedentes de plutonio. El problema de los excedentes como muchos otros de la industria nuclear no se limitan a los Estados Unidos que es el caso que hemos analizado en este trabajo, sino que son problemas compartidos (obviamente con ciertas especificidades por otros países. En ese sentido resultaría muy provechosa la creación de una agencia internacional que lleve a cabo, el desmantelamiento, la vitrificación y el depósito del plutonio proveniente de las cargas nucleares de diversos países. Esta institución podría ser el germen de una agencia internacional encargada de desenriquecer, encapsular y depositar los excedentes de plutonio que se utilizan para la generación de energía eléctrica. En este sentido sería muy recomendable la firma de un acuerdo entre Estados Unidos y Rusia sobre el destino del plutonio. El acuerdo debe incluir el cierre de las plantas

⁴⁴ Makhijani, *Science and Democratic Action*, vol. 5 N° 4.

reprocesadoras. Así mismo sería recomendable el ampliar el Proyecto Piloto de Vitrificación Conjunta del Plutonio Estadounidense y Ruso, el cual es resultado del acuerdo Start 1 y tiene como objetivo fundamental la construcción de dos plantas piloto de vitrificación de plutonio, en ambos países.

Es importante que Estados Unidos mantenga una actitud definida en relación a la necesidad de garantizar que el plutonio no será reutilizado con fines militares, porque hasta la fecha, pese a la larga experiencia en vitrificación adquirida por Rusia en la planta de Cheliabynsk, el gobierno ruso se ha mostrado propenso a utilizar el plutonio proveniente del complejo militar, como combustible, sin tomar ninguna medida para evitar su reutilización⁴⁵.

Desafortunadamente, la mayoría de las consideraciones formuladas en los párrafos anteriores respecto a las ventajas de diluir y almacenar el plutonio, el gobierno estadounidense parece inclinarse hacia otras opciones. El 14 de enero de 1997, el DE anunció que 50 toneladas de plutonio que calificó como excedentes de la Guerra Fría, serán procesados de tal manera que permitan su recuperación inmediata para la fabricación de armas nucleares. Según el anuncio oficial, entre 8 y 17 toneladas serán vitrificadas (sin diluirlas) y el resto serán convertidas en combustible óxido.⁴⁶

⁴⁵ IEER, s.f. Energy and Security N°1.

⁴⁶ Makhijani, Science and Democratic Action, vol. 5 N° 4.

8.7. Conclusiones: alcances y limitaciones de la desinvencción de la basura nuclear

La desinvencción de la basura nuclear es imposible en términos materiales pero es posible en términos tecnológicos. Aunque no existe ninguna tecnología capaz de reducir los plazos durante los cuales serán peligrosas las Sustancias Radioactivas de Alta Peligrosidad si es posible desinventar la manera en que han sido percibidas por la sociedad. Este cambio de percepción es importante, porque su conceptualización como basura ha hecho posible una ineficiente utilización de la reacción en cadena.

Las tecnologías de vanguardia no han logrado reducir los largos períodos durante los cuales será peligrosa la basura nuclear. Técnicas como la Aplicación de Plasma a Presión Atmosférica, las Soluciones Avanzadas para la Separación de Basura o el Desentriquecimiento del combustible enriquecido en grado nuclear, únicamente permiten separar los distintos tipos de basura. Por ello a pesar de que significan un avance importante es importante asumir que la basura nuclear representará un peligro importante para muchas generaciones.

Es posible desarrollar una estrategia encaminada a dismantelar las condiciones que permiten la generación de nueva basura y su ineficiente manejo. Para ello es necesario suspender la generación de desechos, dismantelar el régimen de excepción de la industria nuclear y realizar una sistemática investigación del impacto de las actividades nucleares entre los trabajadores, los veteranos atómicos, las comunidades afectadas y terceros países.

El proceso social mediante el cual se seleccionan y desarrollan las técnicas para manejar la basura nuclear debe cambiar radicalmente. La validación de datos, la desclasificación de la información sobre las actividades nucleares y la libre discusión científica permitirían establecer mejor los objetivos en la estabilización, el aislamiento de los desechos y las tareas de descontaminación y limpieza ambiental.

Bajo una nueva estrategia y un nuevo proceso de selección de técnicas no podría desinventarse materialmente la basura nuclear pero sí podrían desinventarse muchos de sus riesgos. La estrategia de desinversión de la basura permitiría: a) evitar la generación de nuevos desechos provenientes de la industria nuclear militar y reducir considerablemente los originados en la industria nuclear civil b) elevar los parámetros de seguridad para los trabajadores, las comunidades y las futuras generaciones c) minimizar la generación de desechos durante las tareas de limpieza d) crear las condiciones para ubicar los depósitos donde podrían mantenerse aislados con menores riesgos para la salud y el medio ambiente e) proteger los recursos naturales (como el agua subterránea) e) reducir el volumen de la basura f) colocarla en empaquetamientos adecuados para los lugares donde será almacenada g) reducir costos y riesgos a nuevas generaciones h) asumir en tiempo y forma la necesidad de desarrollar formas alternativas de energía i) reducir los riesgos de la carrera armamentista nuclear, la proliferación y los accidentes industriales.

Además de estas contribuciones, la historia semiótica de la tecnología, puede contribuir de manera decisiva a aumentar los márgenes de intencionalidad del proceso productivo.⁴⁷

⁴⁷ La historia de la tecnología puede contribuir decisivamente a coproducir la tecnología y sus efectos así como a ampliar el número de actores involucrados en la configuración de una tecnología, estimular la realización de actividades de integración de intereses, reforzar la comunicación y el diálogo y mejorar el aprendizaje en la fase de incertidumbre (Rip, 1995).

ANEXO 1

LA BOMBA DE HIDRÓGENO

La bomba de hidrógeno o bomba de fisión/fusión funciona de la siguiente manera: Una primera detonación de una bomba de fisión genera temperaturas de hasta 100 millones de grados centígrados, este calor es utilizado para fusionar elementos ligeros como el deuterio o el tritio (dos radioisótopos del hidrógeno). La fusión de los átomos de deuterio o tritio libera una gran cantidad de energía.

La potencia de las bombas de fisión/fusión también llamadas bombas de *segunda generación* es muy superior a la de las bombas de fisión. Mientras las bombas de fisión tienen una potencia equivalente a la detonación de miles de toneladas de TNT (kilotones), las bombas de segunda generación tienen una potencia equivalente a varios millones de toneladas de TNT (megatones).

En agosto de 1949 el gobierno estadounidense ordenó iniciar las investigaciones para la construcción de una bomba H. Su construcción enfrentó tres problemas fundamentales: la investigación sobre la fusión de elementos ligeros, el desarrollo de las computadoras UNIVAC y MANIAC para el procesamiento de datos sobre la fisión y la interrelación entre fisión y fusión.

El proyecto fue impulsado por el senador Bryan McMahon, los científicos Edward Teller, Luis Álvarez y Ernst O. Lawrence, el empresario Lewis Strauss, los militares de la Fuerza Aérea, la universidad de California y los funcionarios de la CEA.

ANEXO 2 GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR MEDIOS NUCLEARES

La generación de energía eléctrica por medios nucleares se basa en el siguiente procedimiento: La fisión nuclear realizada en un reactor genera calor, este se usa para hervir agua y el vapor desprendido de la ebullición es conducido hasta una turbina.

Los reactores utilizados para generar energía eléctrica se basan en la fisión de combustible nuclear. La energía calorífica producida por la fisión es aprovechada y controlada mediante la presencia de algún enfriador. Los reactores de *agua ligera* usan agua normal, los *CANDU* usan agua pesada (o sea agua con un radioisótopo de hidrógeno que cuenta con dos electrones). Los reactores de *alta temperatura* enfriados por gas utilizan helio. Los *reactores de cría* y líquido metálico utilizan sodio líquido. (Denis, 1984 a).

Los *reactores de Agua a Presión* (PWR p.s.i.) utilizan agua ligera como enfriador y son el modelo más común para la generación de energía eléctrica. Dicho modelo funciona así: El corazón del reactor, donde se realiza la fisión se encuentra dentro de una cápsula de circonio colocada al interior de un tanque de acero. Grandes cantidades de agua normal son enviadas al tanque por una bomba. El agua funciona como moderador y enfriador y circula dentro del tanque. El calor del corazón la convierte en vapor y la envía a una turbina de generación de energía eléctrica (Energy International Agency, 1998).

ANEXO 3 EL LABORATORIO NACIONAL DE IDAHO Y EL PRIMER REACTOR DE CRÍA.

El Laboratorio Nacional de Motores de Idaho se fundó bajo la dirección del Laboratorio Nacional de Argonne y contó con la participación del Laboratorio Nacional Oak Ridge, la Marina y las empresas Westinghouse y Phillips Petroleum Company. En sus instalaciones se desarrolló el primer *reactor experimental de cría*, el cual, fue el primer reactor en generar energía eléctrica empleando la *reacción en cadena*. El reactor también fue el primero en producir más combustible del que consumía. El laboratorio de Idaho también se utilizó para construir el primer reactor empleado para la propulsión de submarinos.

La historia del *reactor de cría* es a grandes rasgos la siguiente: Debido a que al terminar la Segunda Guerra Mundial, apenas comenzaba la exploración y cuantificación de los yacimientos de uranio, se consideraba que este recurso no era muy abundante. Por esta razón, el laboratorio de Idaho se empeñó en diseñar un reactor que fuera capaz de producir más combustible del que consumía. Después de varias investigaciones, los tecnólogos del laboratorio determinaron que dicho objetivo sería posible si se aprovechaba la *reacción en cadena* para dos objetivos distintos. El primero sería utilizar la energía calórica de la reacción en cadena para calentar agua y producir energía eléctrica. El segundo sería aprovechar el hecho de que la *reacción en cadena* genera sustancias de fisión (ver cap.1), para producir plutonio. Este segundo objetivo permitiría construir un reactor que generaría energía eléctrica, produciendo más combustible del que consumía.

La construcción del Reactor de Cría comenzó en 1949. El reactor era del tamaño de un balón de fut bol. El 24 de agosto de 1951, Walter Zin puso el reactor en su punto crítico, es decir reunió la cantidad de combustible suficiente como para desatar una reacción en cadena controlada. El 20 de diciembre de ese mismo, tras cuatro meses de mantener al reactor bajo experimentación, la turbina del reactor comenzó a generar energía eléctrica y encendió cuatro pequeños bulbos de iluminación. Dos años más tarde, en 1953 el reactor comenzó a producir un átomo de combustible por cada átomo utilizado (U.S. INEL, *EBR*, February 1997).

ANEXO 4

LA OPERACIÓN GREEN RUN

Inmediatamente después de que la Unión Soviética detonó su primera bomba nuclear, el Departamento de Defensa le solicitó John Healy y Robert Thorburn -dos químicos de la General Electric- que diseñaran un experimento de dispersión intencional de contaminantes. El propósito fundamental del experimento era "desarrollar una metodología para que la inteligencia norteamericana pudiera tener registro del emergente programa nuclear soviético",¹ a través de la experimentación de instrumentos de dosimetría y métodos matemáticos para cuantificar el tamaño de los arsenales soviéticos, a través de sus emisiones contaminantes.

El experimento se denominó *Operación Green Run* y se desarrolló a partir del 2 de diciembre de 1949 en los alrededores de las instalaciones del complejo nuclear de Hanford, Washington. En su realización participaron el General Electric's Nucleonic Department, la CEA y el Departamento de Defensa. El experimento consistió básicamente en reducir el plazo de enfriamiento de una tonelada de uranio de 101 a 16 días. Bajo esta circunstancia se dispersaron intencionalmente grandes dosis de sustancias radioactivas y posteriormente se monitoreo su desplazamiento a través del territorio norteamericano. El objetivo fundamental fue probar equipos móviles y estáticos de dosimetría. Con ese fin se instalaron estaciones de seguimiento en diversos puntos del país y un equipo de dosimetría aéreo sobrevoló la zona durante varios días. El Servicio Meteorológico recomendó posponer el experimento porque la

¹ (Stenehjem, 1992, p. 91)

lluvia y la nieve depositarían los residuos en el suelo. Sin embargo, el experimento comenzó el dos de diciembre conforme a lo planeado originalmente y se prolongó hasta después de Navidad.

Solamente el día dos de diciembre se dispersaron 2 780 curies de yodo 131 y 4 750 curies de Xenón 133. La lluvia y la nieve depositaron buena parte de los desechos sobre varias ciudades y zonas agrícolas. Entre otros efectos grandes porciones de yodo 129 se depositaron en los mantos acuíferos y las granjas cercanas al río Columbia. La lluvia radioactiva contaminó la pastura y el agua. El ganado de las granjas ingirió estos elementos y concentró altas dosis de radiación. Sin embargo la CEA no advirtió de ésta situación a los ganaderos por lo cual nunca se suspendió la producción y el consumo de leche. Según un estudio realizado por el Centro Federal para el Control de Enfermedades al menos 20 000 niños ingirieron leche contaminada con altas dosis de radiación. El yodo es particularmente peligroso para los niños, quienes son 100 veces más susceptibles a la radiación que los adultos.

ANEXO 5

LAS PRUEBAS NUCLEARES PACÍFICAS

Los programas de pruebas nucleares pacíficas fracasaron por la imposibilidad de mantener bajo control la emisión de desechos. Entre 1952 y 1992 la Unión Soviética, Estados Unidos y la India han realizado programas de Explosiones nucleares con fines pacíficos. El programa de explosiones con fines pacíficos más ambicioso de los Estados Unidos denominado Plowshare, incluyó muchos proyectos con una gran diversidad de objetivos entre los cuales algunos de los más importantes fueron: investigación y fenomenología experimental (Gnome 1961) excavación (Sedán 1962), mejoramiento de explosivos (Gasbuggy 1967), activación de gases (Río Blanco 1973), producción de elementos pesados, y almacenamiento subterráneo (Salmon 1964).

La posibilidad de construir canales fue explorada en por lo menos tres proyectos con los siguientes objetivos: unir el Atlántico y el Pacífico, unir la península de Tailandia con el mar de Andaman, aprovechar la depresión Qattara en Egipto para un nuevo canal y para producir energía eléctrica. En 1961 el Cuerpo de Ingenieros de la Armada inició un programa que compendió 18 explosiones nucleares para investigar las posibilidades de construir un nuevo canal en Panamá, nueve de ellas fueron realizadas en Nevada Test Site.

Una de las más poderosas razones por las cuales los proyectos resultaron inviables junto con la falta de patrocinadores fue el hecho de nunca pudo resolverse la

contaminación que provocaría el uso de explosivos nucleares (Borg, Iris Y. P., "Nuclear explosions for peaceful purposes" citado en Goldblatt, 1988).

ANEXO 6 LA DISCUSIÓN SOBRE LA BASURA COMBINADA EN SAVANNAH RIVER Y HANFORD

Al llegar el año de 1984 se presentaron otros casos similares al ocurrido en Oak Ridge. El DE reconoció públicamente, que tanto el reactor "L" de Savannah River, como diversas instalaciones de Hanford², habían contaminado con basura combinada a las comunidades aledañas a ambos establecimientos.³ La contaminación provocada por Hanford incluía pesticidas, amoníacos, aguas no tratadas, petróleo y muchas otras sustancias sumamente dañinas para el ser humano y los seres vivos.⁴ Sin embargo, el DE blandió el mismo argumento que había empleado en el caso de Oak Ridge: la presencia de sustancias radioactivas en la mitad de la basura arrojada por Hanford y las dos terceras partes de los desechos vertidos en el río Savannah ubicaban el asunto en el ámbito de la Ley Nuclear de 1954. Por lo tanto, ninguna institución ajena al DE y la Comisión Reguladora Nuclear podría intervenir en asuntos como: establecer las tareas de limpieza que deberían realizarse o fijar el monto de las indemnizaciones que deberían pagarse a los ciudadanos afectados.

² Los 51 tanques que contienen la basura de alto nivel en dicha instalación concentran el 54% del total de la radioactividad proveniente de la basura radioactiva de alto nivel en Estados Unidos. Makhijani, Hu y Yih (editores), Nuclear Wastelands, A Global Guide to Nuclear Weapons Production and Its Health and Environmental Effects, Cambridge, MIT Press, 1995, p. 253.

³ Los daños provocados por dichas sustancias en Savannah River eran irreversibles, según los estudios realizados por la Comisión Internacional de Físicos para la Prevención de la Guerra Nuclear, (Makhijani, 1995).

⁴ Lo anterior es sostenido por el prestigiado Instituto para la Investigación de la Energía y el Medio Ambiente. Ibid. p. 224

ANEXO 7 LA UBICACIÓN DE LOS DEPÓSITOS FEDERALES DE BASURA

A partir de ese momento, la lucha entre tradicionalistas e innovadores pasó a una nueva etapa en todos los aspectos relacionados con la basura atómica.

Una de las características de la nueva etapa fue que el Congreso exigió que se cumpliera con los objetivos estipulados en la Ley de Política sobre la Basura Nuclear que había sido aprobada en 1982. La ley propuso el estudio preliminar de ocho lugares en los cuales se podría construir un depósito federal para los desechos radioactivos de alto nivel. La ley estipulaba también que el estudio debería seleccionar una terna de lugares donde fuera factible construir el basurero. Los cinco lugares propuestos fueron: Deaf Smith en Texas, Canyon Lands National Park en Utah, Richton Missipi, una mina de basalto en Hanford y el desierto de Yucca Mountain ubicado muy cerca de Nevada Test Site.

En mayo de 1986, el estudio de esos cinco lugares redujo la lista a tres lugares: Handford, Yucca Mountain y Deaf Smith fueron los lugares seleccionados para una caracterización más profunda. La oposición de las comunidades locales y los gobiernos estatales a cada uno de estos proyectos fue enorme. Los gobiernos estatales cuestionaron la metodología empleada por el DE para seleccionar los sitios. Por su parte la Academia Nacional de Ciencias recomendó una mayor caracterización. El DE y la Casa Blanca fueron inundados con peticiones de suspender la construcción de los depósitos.

Para 1987 la intensidad del cabildeo realizado por ciudadanos, congresistas y gobernadores, en contra de los depósitos obligó al Congreso a realizar una enmienda a la Ley sobre Política para el manejo de la Basura Nuclear. La modificación de la ley

recomendó una mayor investigación sobre la sustentabilidad de los sitios, elevó los niveles de exigencia y estableció la obligación de consultar a las comunidades donde se ubicaría el depósito. Además quitó a Hanford, Washington (el depósito para desechos de alto nivel) el carácter de depósito permanente. Por otra parte sugirió la construcción en Texas de un depósito para basura de bajo nivel, pero en un nuevo lugar llamado Sierra Blanca⁵. Tanto en el caso de Hanford como en el de Sierra Blanca recomendó que se estudiara la viabilidad de dichos lugares como almacenes provisionales y no como depósitos permanentes. Por otra parte, la enmienda autorizó inaugurar el depósito del Proyecto Piloto de Aislamiento de Basura a condición de mantenerlo en una etapa meramente experimental. En suma, el único depósito federal para el cual se ratificó el carácter de permanente fue el de Yucca Mountain (destinado a almacenar combustible quemado).

La irritación que provocó esta medida en Nevada fue enorme. Numerosos analistas sugieren que dicho lugar fue ratificado principalmente por su vulnerabilidad política (al contar solamente con un representante en el Congreso) más que por sus características geológicas. Al enterarse de la ratificación, la diputada Barbara F. Vucanovich, representante de ese estado declaró: "[ésta decisión] convertirá a nuestro estado en una colonia de la federación".⁶ Por su parte Richard Bryan, gobernador de esa entidad, calificó el acto como "una atrocidad legislativa" y "prometió usar todos los recursos legales

⁵ Ubicado a solo 26 kilómetros de la frontera con México.

⁶ Goslin op. cit. p.33

a su alcance para evitar su realización".⁷

⁷ Ibid.

ANEXO 8

EFFECTOS SOCIOLOGICOS DEL DEPÓSITO DE YUCCA MOUNTAIN.

Por otra parte la ubicación del basurero también despierta serias dudas sobre sus consecuencias sociales. Al respecto, existe otra importante discusión. Su instalación en territorio tradicionalmente habitado por los indios Shoshone, Paiutes del sureste y Paiutes del valle Owens asentados en 16 reservaciones ha provocado una gran diversidad posiciones. Diversos representantes de estos grupos solicitaron que se les incluyera en el proceso de toma de decisiones relacionado con la instalación (Stoffle, 1990, pp. 711). Al respecto numerosos académicos han sostenido la importancia de cancelar el proyecto de acuerdo a la Ley de Libertad Religiosa de los Indios Americanos según la cual, un proyecto puede ser cancelado si afecta el culto practicado por una tribu (Knack, 1990, p 711). Por su parte Douglas Easterling quien estudia el impacto en la opinión pública de la posible instalación de depósitos de desechos radioactivos considera, que la mera discusión sobre dicha posibilidad ha tenido importantes efectos -casi siempre negativos- entre los pobladores (Easterling, 1992, p. 442-475).

Los problemas y la falta de consenso no terminan ahí. Aún en caso de que se resolvieran todos los obstáculos antes mencionados persistirían los problemas legales. Si la Comisión Reguladora Nuclear otorga la licencia para la construcción del depósito, el Estado de Nevada podría objetar su edificación.

Desde el inicio del debate los estudios sobre la sustentabilidad del lugar han consumido 1.7 mil millones de dólares sin conseguir un mínimo consenso en la comunidad científica sobre aspectos como: lo adecuado del lugar, el tipo de

empaquetamiento y la transportación de los desechos, el consentimiento del estado de Nevada, los criterios institucionales sobre los plazos para lo cuales deberá ser planeada. Lo pero es que aún en caso de resolver estos asuntos, el basurero no sería terminado antes del año 2025 y no tendría la capacidad suficiente para albergar el total de los desechos generados hasta 1989.

ANEXO 9

AVANCES EN EL MANEJO DE LOS DESECHOS DURANTE LA ETAPA 1980-1983

Tampoco puede negarse que hubo algunos avances, aunque en proporción de los problemas eran prácticamente simbólicos. Por ejemplo buena parte de los desechos sólidos de bajo nivel de Oak Ridge eran enviados al Depósito Subterráneo TNX. Dicha instalación había improvisada durante los años cincuentas para guardar los escombros de una explosión de un contenedor de nitrato de uranio. En 1980 los desechos depositados ahí fueron trasladados a una instalación más moderna denominada Depósito Subterráneo de Desechos Radioactivos.

En 1985 la APA intervino. El DE se comprometió a contener la dispersión de contaminantes, limpiar la zona y convertir el área en una reserva silvestre.

Pero no fue hasta 1988 cuando se tomaron medidas serias para proteger el ambiente. En ese año se instalaron 50 estaciones de monitoreo ambiental, 6 torres meteorológicas, 400 sistemas de eliminación de descargas contaminantes, varias estaciones de muestra de suelos, 330 esferas de monitoreo de aguas subterráneas, 96 monitores de radionucleidos, 44 puntos para muestreo de vegetación, o lugares de monitoreo de arroyos de sedimentación, 6 estaciones de muestreo de leche y 17 estaciones para medir la radiación externa.

ANEXO 10

TÉCNICAS DE VANGUARDIA PARA EL TRATAMIENTO DE LA BASURA COMBINADA

En la actualidad existen 167 000 m(3) de basura combinada. Esta se encuentra en 1 400 arroyos artificiales, en 37 instalaciones del DE ubicados en 19 estados. Las principales necesidades relacionadas con este tipo de basura son la caracterización, la reducción de su volumen, la separación de sus distintos componentes, el tratamiento de sustancias como (metales duros, dioxinas, y compuestos orgánicos, entre otros, su traslado a nuevos depósitos, la estabilización, la vitrificación y el estudio de su comportamiento en el largo plazo. La Planta de Tratamiento Avanzado de Basura Combinada del Laboratorio Nacional de Idaho obtuvo un contrato para caracterizar y tratar 2 000 m(3) por año⁸. El procedimiento utilizado para estabilizarla consta de varias etapas. En primer lugar se caracteriza el tipo de basura. Para ello, es común que se emplee un sistema de radiografía de tiempo real. Más adelante se remueve la basura de los suelos . Posteriormente se traslada a las plantas de tratamiento. Acto seguido se segrega en cajas o tambos de acuerdo a sus características. El siguiente paso es incinerarla y/o vitrificarla. Después se encapsula. Y finalmente se somete a un proceso de supercompactación y macroencapsulación para reducir aún más su volumen y empaquetarla adecuadamente⁹.

⁸ (Bokonski, 1998)

⁹ (Idaho Operation Office, 1998 b)

El depósito de la basura combinada no ha sido especificado por el DE, aunque es muy probable que requiere de distintos tipos y lugares debido a su inmensa variedad y su dispersión geográfica.

ANEXO 11

TÉCNICAS DE VANGUARDIA PARA EL MANEJO DEL COMBUSTIBLE QUEMADO

El volumen del combustible quemado tampoco se ha estimado adecuadamente. Aunque se sabe que existen 90 tipos diferentes de combustible quemado dependiendo del tipo de reactores en que fue consumido¹⁰. El Departamento de Energía ha especificado cuales son las necesidades que estima más urgentes: a) estabilizar el combustible almacenado en las piscinas y en los sistemas de almacenamiento en seco b) evaluar la degradación de los contenedores del combustible y de las piscinas donde se ubica c) trasladar el combustible almacenado en piscinas, a sistemas de almacenamiento en seco d) detectar los casos en que los sistemas de almacenamiento en seco de primera generación, se encuentran dañados y trasladar el combustible almacenado en ellos, a nuevos sistemas de almacenamiento en seco más modernos y seguros e) recibir la basura procedente de reactores europeos¹¹.

El Laboratorio Nacional de Idaho desarrolla actualmente diversas técnicas para mejorar el manejo del combustible quemado. Una de sus prioridades es brindar mantenimiento a las piscinas donde se encuentra el combustible. Con ese fin ha diseñado, producido e instalado sistemas de monitoreo de fugas, flotadores, esferas de

¹⁰ (Hoskins, 1998)

¹¹ El Departamento de Energía firmó un convenio con diversos laboratorios europeos en el cual se comprometió a recibir los desechos de los reactores de investigación vendidos a laboratorios europeos (Blower, op cit).

monitoreo de dispersión y disolución de sustancias y sistemas de protección contra incendios¹².

La principal innovación en el almacenamiento de combustible quemado introducida en década de los noventa consiste en trasladar la basura colocada en las piscinas a cilindros de almacenamiento en seco. Sin embargo algunos de los depósitos de combustible quemado han envejecido prematuramente. Por esta razón el Laboratorio Nacional de Idaho esta identificando cuáles son los contenedores dañados, con el fin de brindarles mantenimiento. Para ello, estudia diversos aspectos relacionados con los contenedores como: la corrosión provocada por bacterias y la interacción entre el combustible quemado y los materiales empleados para la construcción de los contenedores (normalmente acero inoxidable recubierto con concreto). Asimismo está experimentando técnicas para extraer el agua que penetró en los contenedores averiados.

La intención del Departamento de Energía es colocar la mayor parte del combustible quemado procedente de la industria nuclear militar y civil en el depósito de Yucca Mountain, aún cuando existen serias dudas de que dicho lugar sea adecuado, en caso de que sea aprobado algún día.

¹² (Idaho National Engineering and Environmental Laboratory, 1998)

REFERENCIAS

- Ackland, Len y Steven Mc Guire (coord.) (1987), *La edad nuclear*. México: FCE-UNAM, (Entre la Guerra y la Paz).
- Air Force Association (1995), *The Enola Gay Debate august 1993-may 1995*. Arlington.
- Akizuki Tasuitchiro (1987), *Nagasaki encuentro con el desastre*. México: UNAM-FCE (Entre la guerra y la paz), 2 vols.
- Alston, Giles (1997), "Nuclear Waste Seeks Good Home", *The World Today*, August/September.
- American Nuclear Society(1990), *High Level Radiactive Waste Management*. New York: Le Grandge Park.
- Arkin, William y Robert S. Norris (1997), "NRDC Nuclear Notebook. Global Nuclear Stockpiles, 1945-1997", *The Bulletin of Atomic Scientists*, Nov/Dic, vol. 53, N°6, [67-69].
- Arkin, William y Robert S. Norris (1998a), "NRDC Nuclear Notebook. Las Fuerza nucleares estratégicas de Estados Unidos a fines de 1997" (trad. de Alberto Betancourt), en *The Bulletin of Atomic Sicientists, Página Electrónica*. Ene/Feb, vol 54, N°1.
- Arkin, William y Robert S. Norris (1998b), "NRDC Nuclear Notebook. Russian Strategic Nuclear Forces, end of 1997", *The Bulletin of Atomic Sicientists*, March/April, vol 54, N°2, [70].
- Atomic Energy Commission/General Electric Company (1953), "Radioactive Contamination in the Handford Environs for the Period July, August, September 1953", DOE/OPENESS, HW-30174 Health and Safety.
- Bagaasen, L.M. y W.J. Powell (1993), *Pilot -Scale Verification Test for Handford Grout*. Richland: Pacific Northwest Laboratories.
- Berger, John J. (1977), *Nuclear Power:The Unviable Option*. New York: Ramparts Press.
- Bernd, Frankey Arjiun Makhijani (1997), "Worker Radiation Doses Deeply Flawed", *Science and Democratic Action*, IEER, Vol. 6, N° 2, Nov.

Berstein, Barton J. (1985), "Radiological Warfare; the path not taken", *The Bulletin of Atomic Scientists*, vol. 41, N°7, August, [44-50].

Betancourt Posada, Alberto (1995), *Entrevista a K. S. Goslin, Director del Archivo Histórico del Departamento de Energía*, realizada en la División de Historia del Cuartel General del Departamento de Energía, Washington, D.C., agosto, versión mecanográfica.

Betancourt Posada, Alberto y Georgina Gatsiopulos (1996) "Podrían instalar en Texas un basurero nuclear a sólo 26 kilómetros de la frontera con México" en *El Financiero*, 12 de noviembre, Primera Plana.

Betancourt Posada, Alberto (1997), Los riesgos nucleares de la Post-Guerra Fría, *Foro Internacional*, n° 148 (en prensa).

Betancourt Posada, Alberto (1998), "Nuclear Waste, Border Skirmish", *The Bulletin of Atomic Scientists*, vol. 54, N°3 May/June.

Bhalla, Ajit, "La selección de tecnologías y el desarrollo" en Salomon Jean-Jacques, Francisco Sagasti y Celine Sachs (comp) (1996), *Una búsqueda incierta, ciencia, tecnología y desarrollo*. México, Editorial de la Universidad de Naciones Unidas-FCE (Lecturas 82).

Bijker, Wiebe (editor) (1987), *The Sociology and History of Technological Systems. New Directions in the Sociology and History of Technology*. Cambridge, Mass.: Mit Press.

Bijker, Wiebe (editor) (1992), *Shaping Technology/Building Society. Studies in Sociotechnological Change*. Cambridge, Mass: MIT University Press.

Bijker, Wiebe (1995), *Of Bicycles, Bakelites and Bulbs; Toward a Theory of Sociotechnical Change*. Mass: MIT.

Block, Melvin A. (1947), "Carta a Robert J. Buettner, Universidad de California", 16 de noviembre, DOE/OPENESS, Stafford Warren DOE/UCLA, 140299.

Bloom, Justin L. (Staff Assistant to the Chairman of the AEC) (1969), "Carta a Mr. Albert Toner (Staff Assistant of the White House)", July 26, DOE, Glenn T. Seaborg Chr. USAEC 1961-1972, folder-page 103170, 911307, confirmed to be unclassified DOE-DPC J.H. Carlson, 7/17/86.

Blowers, Andrew, David Lowry y Barry D. Solomon (1998), *The International Politics of Nuclear Waste*. Hampshire- Londres et al. s/editorial.

Board on Radioactive Waste Management of the National Research Council (1996), "A Report on the Glass as a Waste Form and Vitrification Technology Workshop", en

Weapons Complex Monitor. Exchange/Waste Management Clean Up. Washington D.C.:Monitor Publications, Inc., 24 de mayo, vol. 7, N° 37.

Bokonski, Mike, J. (1998), *Advanced Treatment of Mix Waste.* Idaho: NIL.

Bolon, We D., J.D. Hei et. al. (1991), *Status Report: The Glass-Ceramic Processing Flowsheet for ICCPP High Level Waste.* Idaho: Westinghouse Idaho/Nuclear Company Inc.

Bruheze, Adri de la (1992), "Closing the Ranks: Definition and Stabilization of Radioactive Waste in the U.S. Atomic Energy Commission, 1945-1960" en Bijker, Wiebi, E. y John Law (editores), *Shaping Technology/building Society. Studies in Sociotechnical Change,* Cambridge et al. : MIT.

Cabral Regis, "The mexican reactions about Hiroshima", *Quipu. Revista latinoamericana de ciencia y tecnología,* México, vol. 2, N° 1.

Cabral, Regis, (editor) (1990),*The Nuclear Technology Debate in America Latina,* Gothenburg University, (Science, technology, ideology, culture vol. 1).

Castro Díaz-Balart, Fidel (1990), *Energía nuclear y desarrollo. Realidades y desafíos en los umbrales del siglo XXI.* La Habana: Ciencias Sociales.

CDPHE, Disease Control & Enviromental Epidemiology Division (1993), *Estimating Plutonium Releases from Unmonitoring Souerces at Rocky Flats,* Colorado.

Cole L.L. y D.E. Fields (1989), *Radioactive Waste Vitrification: A Review.* Oak Ridge Tennessee: Health and Safety Research Division,Oak Ridge Natinal Laboratory.

Colin (1997), "US radiation report fails to satisfy critics", *Nature,* vol. 377, 12 October.

Colorado Department of Health (1975), *Rocky Flats Transuranics and Risk Estimates,* DOE/OPENESS, (fasc del original-original en mal estado).

Colorado Department of Public Health and Enviroment (1993), *Program of Historical Public Exposures Studies on Rocky Flats.* Denver.

Committe for U.S. Veterans of Hisrohima and Nagasaki (1980), *Newsletter,* Portland, vol. 1, N°3.

Connor Charles B. (1995), "Assesing Long-Term Volcanic Hazards to the Geologic Disposal of Nuclear Waste", *Technology Today,* Junio, [6].

Coriat, Benjamin (1981), *El taller y el cronómetro. Ensayo sobre el taylorismo, el fordismo y la producción en masa.* México: Siglo XXI.

Corn, Joseph J. (1986), *Imagining Tomorrow. History, Technology and the American Future*, Cambridge et al.: MIT-Planeta-Agostini.

Chomski, Noam (1992), *El lenguaje y el entendimiento*. Barcelona: (falta editorial).

Chown, Marcus (1997), "Just Who Discover the Electron?", *New Scientist*, marzo, [49].

Chris G., Whipple (1996), "Can Nuclear Waste Be Stored Safely at Tucca Mountain?. Studies of the mountain's history and geology can contribute useful insights but not unequivocal conclusions" *Scientific American*, junio.

D'Arrigo, Diane (1998), "Sobre Sierra Blanca", Carta a Alberto Betancourt, Julio.

Dennis, Jack (editor) (1984 a), *Nuclear Almanac: Confronting the Atom in War and Peace*. Massachusetts: Addison-Wesley Publishing/MIT.

Dennis Jack and Anthony Nero (1984 b), "Nuclear Power" en Dennis (1984).

Derrida, Jacques, *La desconstrucción en las fronteras de la filosofía. La retirada de la metáfora*. Introducción de Patricio Peñalver, Barcelona.

Diel, Paul, *Psicoanálisis de la divinidad*, México, FCE.

Director of Military Application of the Atomic Energy Commission (1952), "Report of the Director of Military Application: Summary of Relations Between the AEC and Photographic Industry", en Archivo Histórico del Departamento de Energía de E.U., Atomic Energy Commission, Jan. 17.

Duning, Gordon, M., *Letter to Mr. Barney L. Taylor* (about Trinity Test), Junio 14, Openess, OS:NESS, OS:DIR, TFM, TFMcCraw CMDuning, 6/11/65.

Durant, Robert F. (1993), "Hazardous Waste, Regulatory Reform, and the Reagan Revolution; the ironies of an Activist Approach to Deactivating Bureaucracy", *Public Administration Review*, Nov/Dic, Vol. 53, N°6, [550-560].

Dussel, Enrique (1984), *Filosofía de la producción*. Bogota: Nueva América.

Easterling, Douglas (1992), "Fair Rules for Siting a High Level Nuclear Waste Repository", *Journal of Policy Analysis and Management*, University of Pennsylvania, vol. 11 N°3 [442-475].

Eco, Umberto (1977), *Tratado de semiótica general*. Milan: Nueva Imagen-Lumen, (palabra en el tiempo 122).

Eco, Umberto (1982), *Obra abierta*. México: Planeta-Agostini, 1(a) edición 1962.

The Economist (1989), "Nuclear Waste: A 2 billion hunch", *The Economist*, 16 de Feb. [28].

Edwards, Rob (1997), "Nuclear firms want special treatment", *New Scientist*, 14 de jun. [7].

Eisenbud Merryll, (1989), Carta a Henry Khon, citado en International Commission to Investigate the Health and Environmental Effects of Nuclear Weapons Production/ Institute for Energy and Environmental Research (1991).

Emberson-Bain, Atu (1992), *Perilous Pursuits; the Environmental and Social Impact of the Mining and Nuclear Industries in the Pacific*. Fiji: Universidad del Pacifico Sur.

Energy International Agency (1998), Nuclear Electric LTD, *How a Pressurised Water Reactor Works*.

Environmental Management Research Program, "Research Funded and Its Linkages to Environmental Cleaning Problem" en *Report to Congress of the U.S. DOE's Environmental Management Research Program*, H Q, Abril de 1998.

Federation of American Scientists (1991), *Ending the Production of Fissile Materials for Weapons. Verifying the Dismantlement of Nuclear Warheads*. June, p 30.

Fehner, Terrence, R. (1995), *Coming From the Cold: Regulating the U.S. Department of Energy's Nuclear Facilities 1942-1995*, U.S. Department of Energy, Office of the Executive Secretariat History Division.

Fioravanti

Flavin, Christofer y Nicholas Lenssen (1996), "Nuclear Power Browning Out", *The Bulletin of Atomic Scientist*, may/jun, vol 52, N° 3, p. 52.

Flynn James, Roger E. Kasperon, Howard Kunreuther, and Paul Slovic, (sin fecha), "Redirecting the U.S. High-Level Nuclear Waste Program", *Environment*, vol. 39, N° 3 [6-11].

Ford, Daniel F. (1982 a), *The Cult of the Atom the Secret Papers of Atomic Energy Commission*. New York: Simon and Shuster.

Ford, Daniel F. (1982 b), *Three Mile Island:Thirty Minutes to Meltdown*, Middlesex, Penguin Books.

Foucault, Michael (1984), *Las palabras y las cosas*. México: Siglo XXI.

Franke Bernd and Arjiun Makhijani (1997), "Worker Radiation Doses Deeply Flawed" *Science and Democratic Action*, IEER, Vol. 6 N° 2, Nov.

Gabor, Dennis y Umberto Colombo (s.f), *Beyond the Age of Waste. Science, Technology and the Management of Natural Resources Energy, Materials, Food: a Report to the Club of Rome*, s.c: s.e.

Gallagher, Carole (1993), *American Ground Zero. The Secret Nuclear War.*, Vermont: s.e. (falta editorial)

Glasstone, Samuel y Alexander Sesonske (1981), *Nuclear Reactor Engineering*. New York: Van Nostrand Reinhold Company.

Glasstone Samuel y Walter H., Jordan (1982), *Nuclear Power and its Enviromental Efects*. Illinois: American Nuclear Society.

Goldblat, Jozef y David Cox (1988), *Nuclear Weapon Tests: Prohibition or Limitation?*, Oxford, Oxford University Press-SIPRI.

Gordon M. Dunning (1965), "Carta de Gordon M Dunning, Deputy Director Division of Operational Safety a Barney L. Taylor, OS:NESS", en U.S. Departament of Energy, Openess, TFMcCraw:rw, 6/11.

Gorz, André, *Historia y enajenación* (1969). México: Grijalbo, (Colección Popular Tiempo Presente).

Goslin, F.G. (1994 a), *Closing the Circle: The Department of Energy and Enviromental Management 1942-1994*. Washington D.C.: History Division Executive Secretariat, Department of Energy.

Goslin, F.G. (1994 b), *The Manhattan Project. Making the Atomic Bomb*. Oak Ridge: History Division, Executive Secretariat, Departament of Energy (Energy History Series).

Gray, C. Boyden and Dvid B. Rivkin Jr. (1991), "A "no regrets, Enviromental Policy", *Foreig Policy*, s.c., s.e y s.f..

Greenpeace (1985), *Los vertidos radioactivos en el mar*. Madrid: Greenpeace España.

Grynberg, Michael (1994), *Public Citizen. What's Wrong with Bryng Nuclear Waste at Yucca Mountain?*. Washington D.C.: Public Citizen.

Gugerli, David (1994), "Sociocultural aspects of technological change: the rise of the swiss electricity supply economy", en *Technology and Culture*, Oct.

Gugerli, David (1989), *El artefacto y la sociedad. Sobre el dilema metodológico de las ciencias sociales frente a la tecnología*. México: Colmex-Procientec, (Documentos de investigación -Procientec).

Gugerli, David (1991), *Progreso y modernidad. El control discursivo de la tecnología* México: Colmex (Documentos de investigación de Procientec).

Halliday, Fred (1989), *Génesis de la Segunda Guerra Fría*. México: FCE (Entre la Guerra y la Paz).

Harrison, Florence L. et. al. (1971), *Triatiation of Aquatic Animals In An Experimental Marine Pool*, (ponencia presentada en Tritium Symposium, 30 de ago/ 2 de sep. , Las Vegas: Lawrence Radiation Laboratory, University of California Livermore.

Hench, L., L., y D.E. Clark, Department of Materials Science and Engineering, University of Florida (1998), "High Level Waste Immobilization Forms", en *Hanford Technology Database:Immobilization*, DOE, Washington.

Herrera Amilcar, O (1981), *La larga jornada. La crisis nuclear y el destino biológico del hombre*. México: Siglo XXI.

Herzik Eric B y John L Dobra (1994), "What's Science got to do with it: The Use Os Public Opinion In Depeloping Nuclear Waste Policy" en *American Nuclear Society, High Level Radiactive Waste*. Nueva York.

Hess, H.H., (1960), Regarding Land Disposal of Radiactive Waste (doc. enviado John A. McCone) , DOE, Openess.

Hewlet, Richard G. (1978),*Federal Policy for the Disposal of Higly Nuclear Power Plants: an Historical Analisis*. s. c. US Department of Energy, History Division.

Hicks, Robert F. (1996), *Atmospheric-Pressure Plasma Cleaning of Contaminated Surfaces*. Nuevo México: U.S. Department of Energy-Los Alamos National Laboratory.

Hippel, Frank von and David H Albright y Barbara G. Levi (1985), "Stopping the production of fissile materials for weapons", *Scientific American*, septiembre, vol. 253, N°3.

Hippel, Frank von, et. al. (1993), "Disposition of Separated Plutonium", en *Science and Global Security*, vol. 3 N°s 3-4.

Holloway, David (1994), *Stalin and the Bomb. The Soviet Union and Atomic Energy, 1939-1956*. New Haven-London: Yale University Press.

Hoskins, Alan (1998), *Spent Fuel Dry Storage*. Idaho: Idaho National Laboratory.

IEER (1997), "Recomendations on Plutonium Management", en Energy and Security N°1.

IEER (1998), *Glosario*, Takoma.

Illich, Iván, *La convivencialidad*. Barcelona: Seix Barral. (fecha)

Idaho National Engineering and Environmental Laboratory, (1997), EBR, February.

Idaho National Engineering and Environmental Laboratory (1998), "Integrated Spent Fuel Program", en Environmental Management Science Program, *Report on the the US DOE's EMSP: Research Funded an its linkages to Environmental Cleaning Problems*, abril.

Idaho Operation Office (1998 a), " HLW Treatment and Storage", en Environmental Management Science Program, *Report on the the US DOE's EMSP: Research Funded an its linkages to Environmental Cleaning Problems*, abril.

Idaho Operation Office (1998 b), "Idaho Advanced Mixed Waste Treatmen Proyect", en Environmental Management Science Program, *Report on the the US DOE's EMSP: Research Funded an its linkages to Environmental Cleaning Problems*, abril.

International Association for Semiotic Studies, *Semiotics Bridging Nature and Culture*, memorias del IV Congreso Internacional de la International Association for Semiotic Studies, Guadalajara, Jalisco.

International Commission on Radiation Protection (1990), "Recomendations of the ICRP", ICRP Publication, N° 60.

International Commision to Investigate the Health and Environmental Effects of Nuclear Weapons Production/ Institute for Energy and Environmental Research (1991), *Radiactive Heaven and Earth. The Health and Environmental Effects of Nuclear Weapon Testing In, On, Above, the Earth*. London: The Zed Books-Apex Press.

International Physicians for the Prevention of Nuclear War (1992), *Plutonium Deadly Gold of the Nuclear Age*. Cambridge, Mass: Onternational Physicians Press.

Jantzen, C.M., *Vitrificación of Low Level Waste and Mixed (Radioactive and Hazardous) Wastes:Lessons from High Level Waste Vitrification*. Oak Ridge: Westinghouse Savannah River Site.

Johnsrud, Judith (1992), "Radioactive Waste: The Mountain that Goes On Growing", National Symposium on Radioactive Waste, *A Mountain of Waste 50 Years High*. St. Louis Missouri: Nuclear Information And Resource Service, April 25.

**Knack, Martha G, University of Nevada, Las Vegas (1990), "About the Native American Cultural Resource Studies at Yucca Mountain, Nevada, Research Report", Ann Arbor, Institute for Social Research, University of Michigan, 1990, 256pp (paper) pub in *Applied Anthropology*, p 711. (no se entiende nada)

Kaldor, Mary (1981), *The Baroque Arsenal*. Nueva York: Hill and Wang.

Konczal, Mike, (1998), "Rocky Flats Fire 1969", en Office of Communications and Economic Development, *Rocky Flats Facts*. Colorado: Rocky Flats Technology Department.

Kopp, Carolyn (1979), "The Origins of the American Scientific Debate over Fallout Hazards", en *Social Studies of Science*. Sage London-Beverly Hills: vol. 9, pp 403-22.

Kornada, John J. J. (1971), "Triatiation of Aquatic Animals in an Experimental Marine Pool", Las Vegas Lawrence Radiation Laboratory, University of California Livermore, ponencia para el Proceedings of the Tritium Symposium, agosto 30 a septiembre 2.

Kory W. Budlongs Silvester y Scott A Simonson (1996), "An assessment of the use of Diluents in the Vitrification of Weapons-Grade Plutonium", en *Science and Global Security*, vol. 6, N° 1.

Kostas, Axelos y Ronald Bruzina (1976), *Alienation, Praxis and Techné in the Thought of Karl Marx*. Austin: University of Texas.

Krey P., et. al. (1976), "Plutonium and Americium Contamination in Rocky Flats Soil-1973", U.S. Energy and Development Administration, Health and Safety Laboratory, New York.

Kuhn, Thomas, S. (1996), *¿Qué son las revoluciones científicas y otros ensayos*. Barcelona-Buenos Aires-México: Paidós (Pensamiento Contemporáneo 6).

Kuhn, Thomas, S. (1996), *La tensión esencial*. México: Fondo de Cultura Económica (reimpresión).

Kuhn, Thomas, S. (1962), *La estructura de las revoluciones científicas*. México: FCE (edición consultada 1986), (breviarios 213).

Kwee, S. L., y Mullender, J.S.R. (1972), *Growing Against Ourselves. The Energy Environment Tangle*. Massachusetts, John F. Kennedy Institute.

Lakov Liszka, James, Pierce (1997), "Three Conditions for the Sign and the Problem of Meaning", en *Semiotics Bridging Nature and Culture*. México: El Colegio de México et. all.

Lubar, Steven (1995), "Representation and Power" en *Technology and Culture* (s.v.)

Lamperti, John (1984), "Uranium: The Yellowcake Road" en Denis, Jack (editor), *The Nuclear Almanac*. Massachusetts, MIT.

Latour, Bruno (1987), *Science in Action*. Massachusetts: Harvard University Press.

Lee Ray, Dixi y Lou Guzzo (1992), *Trashing the Planet*. New York: Harper Prenal.

Lenssen, Nicholas (1991), *Nuclear Waste: The Problem That Won't Go Away*. s.c.: World Watch Institute (World Watch Papers 106).

Levinas, Emanuel (1974), *El humanismo del otro hombre*. México: Siglo XXI.

Lewy, Guenter (1988), *Peace and Revolution. The Moral Crisis of American Pacifism*. Michigan: William B. Eetdmans Publishing Company.

Liszka, James Jakob (1997), "Pierce's Three Conditions for the Sign and the Problem of Meaning" en International Association for Semiotic Studies, *Semiotics Bridging Nature and Culture*, memorias del IV Congreso Internacional de la International Association for Semiotic Studies, Guadalajara, Jalisco.

Los Alamos National Laboratory (1998), *Uranium*. Nuevo Mexico: LANL.

The League of Women Voters Education Fund (1985), *The Nuclear Waste Primer a Handbook for Citizens*. New York: Nick Lyons Books.

Mcbride, William M., (1997), "The Unstable Dynamics of Strategic Technology: Disarmament, Unemployment, and the Interwar Battleship", *Technology and Culture*, (s.v.)

Macilwain, Colin (1997), "US radiation report fails to satisfy critics", *Nature* vol. 377 (12) octubre.

MacKenzie (1997), "Don't dump here. A dearth crustaceans makes tropical atolls bad places to test bombs or store nuclear waste", *New Scientist*, 27 sep.

Mac Kenzie, Donald (1991), *Inventing Accuracy. A Historical Sociology of Nuclear Missil Guidance*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.

Mac Kenzie, Donald (1996), *Knowing Machines. Essays on Technical Change*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.

Madel, D.W., Coultas, D.B., James, D.S. (1997), "Ethnic Differences in the prevalence of nonmalignant respiratory disease among miners", in *American Journal of Public Health*, vol. 87, 1997, N°5.

Makhijani, Arjiun (1995), *Fissile Materials in Glass, Darkly. Technical Aspects of the Disposition of Plutonium and Highly Enriched Uranium*. Takoma, Maryland: IIER Press.

Makhijani, Arjiun (1992), *Plutonium Deadly Gold of the Nuclear Age*. Cambridge: International Physicians Press.

Makhijani, Arjiun (1991), *Radiactive Heaven and earth. The health and Environmental Effects of Nuclear Weapon Testing In, On, and Above the Earth*. London/Nueva York: Zed Books.

Makhijani, Arjiun y Hu Yih (editores) (1995), *Nuclear Wastelands. A Global Guide to Nuclear Weapons Production and Its Health and Environmental Effects*. Cambridge, Mass.:MIT Press.

Makhijani, Arjiun (1998), "Nuclear Power: No Solution to Global Climate Change", *Science for Democratic Action*, vol. 6, N° 3, March.

Mariotte, Michael (1992), "A Mountain of Waste Fifty Years High", National Symposium on Radioactive Waste, *A Mountain of Waste 50 Years High*. St Louis Missouri: Nuclear Information And Resource Service, April 25.

Marx, Carlos (ed.1989), *El Capital*, México-Buenos Aires, Siglo XXI, vol. 6 (Biblioteca del Pensamiento Socialista).

Maser, J.J. et. al. (1994), "An Evaluation of vitrification technology: Application to Mixed Waste at Argonne National Laboratory" presentado en Waste Management 194 Tucson Arizona, supported by DOE Office of Technology Development.

Mason Willrich y Richard K. Lester (1977), *Radiactive Waste Management and Regulation.*, New York: The Free Press.

Mauil, Hanns W. (1984), *Raw Materials, Energy and Western Security*. London: MacMillan- International Institute for Strategic Studies.

May, John (1989), *The Greenpeace book of the Nuclear Age. The Hidden History The Human Cost*. Nueva York: Pantheon Books.

Miramontes Octavio (1989), *Consecuencias para México de una Guerra Nuclear: el pulso electromagnético*. México: Colmex-Procientec (documentos de investigación DI-9).

Morones, Armando y Javier Esquivel (1987), *Laguna Verde ¿contribución de México al holocausto pacífico?*. México: El caballito.

Morrison Philip and Paul Walker (1984), "A Primer of Nuclear Warfare", en Dennis, Jack (editor) (1984 a), *Nuclear Almanac: Confronting the Atom in War and Peace*. Massachusets: Addison-Wesley Publishing/MIT.

Mowery, Hartman, B., (LTC, Infantry, Biomedical Office) (1979), *Memorandum for Director, Dosage Reconstruction, Hirohima and Nagasaki*, Openess 67677.

Mukerje, Madhusree (1998), "In Focus. Brookhaven Brouhaha. The Laboratorio tries to recover from fallout of radioactive leaks and chemical dumping", *Scientific American*, February, pp 7-10.

Musil, Robert K. (1991), *Shadows of the Nuclear Age: American Culture and the Bomb y Mushrooms: Nuclear war and the imagination*, citado en Nadal Egea, Alejandro, *Arsenales nucleares tecnología decadente y control de armamentos*, México, Colmex, 1991.

Nadal, Alejandro y Octavio Miramontes (1988), *Análisis del Plan de Emergencia Radiológica externo para la Central de Laguna Verde*. México: Colmex (Procientec).

National Academy of Sciences (1955), "Proceedings of the Princeton Conference on Disposal on Radioactive Wastes Products, Sep 10/12, , Princeton University, New Jersey" en National Academy of Sciences, *The Disosal of Radioactive Waste on Land*, Washington D.C., 1957.

National Academy of Sciences (1995), "Symposium on the 50th Anniversary of the Trinity Test. How Trinity Shaped Science and Technology" (versión grabada), Washington D.C. 1995.

National Cancer Institute (1997), *Thyroid Doses from Radioactive Iodine-131 Fallout Study*. s.c.: Office of Cancer Communications, August 1.

National Research Council (1994), *Ranking Hazardous Waste Sites for Remedial Action*. Washington D.C.: National Academy Press.

National Syposium on Radioactive Waste, *A Mountain of Waste 50 Years High*. St Louis Missouri: Minard Hamilton Editor.

Newton H. Copp y Andrew W Zanella (1992), *Discovery, Innovation, and Risk. Cases Studies in Science and Technology*. Cambridge: MIT Press.

Northwest National Laboratory, Wetinghouse Handford Company (1996), *Handford Site Enviromental Report for Calendar 1995*. Washington: August.

Nuclear Waste Technical Review Board (1996), *Disposal and Storage Spent Nuclear Fuel Finding the Right Balance. A Report to Congress and the Secretary of Energy*, NWTRB. Virginia: marzo.

Osaka Imperial University, *Report on the Atomic Bomb on Hiroshima*, s.f., Openess 140344, Stafford Warren, DOE/UCLA.

Ostrom, Charles W. Jr. And Dennis M. Simon (1992), "The Man in the Teflon Suit: The Enviromental Connection, Political Drama and Popular Support in the Reagan Presidency", *Foreign Policy*. (confirmar fecha y demás datos)

Peters, Richard D. (1990), *Treatment Alternatives for Greater -Than.Class C Low-Level Waste*, (Presentado en el Institute of Nuclear Materials Management Annual Meeting) Pacific Northwest Laboratory, Richland.

Pickering, Kevin T. y Lewis A. Owen (1994), *An introduction to global enviromental issues*. London et. al.: Routledge.

Pryor, R. Roger (1992), "A Mountain of Waste Fifty Years High", en National Syposium on Radioactive Waste, *A Mountain of Waste 50 Years High*. St. Louis Missouri: Nuclear Information And Resource Service, April 25.

Rosi, Eugene, J. , (s.f.), "Mass and Attentive Opinion on Nuclear Weapons Test and Fallout, 1954-1963", in *The Public Opinion Quarterly*, Vol. XXiX, Summer Number 2 pp 280-297.

Rangel Nafaile, Carlos, E. (1987), *Los materiales de la civilización*. México: Fondo de Cultura Económica (La ciencia desde México 29).

Research Commision of the Imperial University Kyoto (1945), "A Preliminary Report on the Disater in Hiroshima City Caused by the Atomic Bomb by the Research Commision of the Imperial University Kyoto" en Archivo Histórico del Departamento de Energía, Openess, Stafford Warren, DOE/UCLA, Nov.

Resnikoff, Marvin (1997), "No dose too low", *The Bulletin of Atomic Scientists*, vol. 53, N°6, Nov/Dec, pp 52-56.

Rickards Campbell, Jorge y Ricardo Cameras Ross (1990), *Las radiaciones. II El manejo de las radiaciones nucleares*. México: FCE (La ciencia desde México 94).

Rip, Arie (editor) (1995), *Managing Technology in Society: The Approach to a Constructive Technology Assessment*. London: Casel.

Rochon, Thomas R (1988), *Mobilizing for Peace. The Antinuclear movements in Western Europe*. Londres: Adamantine Press Limited (Adamantine Studies in International Relations. World Security).

Rodblat, Joseph (1981), "Hazards of Low-Level Radiation -Less Agreement, More Confusion", *The Bulletin of Atomic Scientists*, Jun/Jul, vol. 37, N° 6.

Rodblat, Joseph (1987), "Porque abandoné el proyecto de la bomba", en Ackland Len y Steven Mc Guire (coord), *La edad nuclear*. México: FCE-UNAM (Entre la Guerra y la Paz).

Roots, Fred (1994), "Radioactive Waste Disposal-Ethic and Enronmental Considerations-A Canadian Perspective" en Nuclear Energy Agency (1994), *Enviromental and Ethical Aspects of Long-Lived Radioactive Waste Disposal*. Proceedings of an International Workshop org. by the NEA in co-operation with the Enromental Directorade of OECD (OECD-Documents).

Rosenberg, Nathan (1976), *Perspectives on Technolgy*. Cambridge,London: Cambridge University Press.

Rosenberg Nathan and L.E. Birdzell, Jr. (1986), *How the West Grew Rich. The Economic Transformation of the Industrial World*. New York: Basic Books, Inc. Publishers.

Rosi, Eugene, J. (1965), "Mass and Attentive Opinión on Nuclear Weapons Tests and Fallout" en *The Public Opinion Quarterly*, vol. XXIX, Summer 1965, N° 2, pp 280-298.

Rothestein, Linda (1995), "Nothing clear about cleanup", *The Bulletin of Atomic Scientists*, vol. 51, n° 3 may/jun.

Saldaña, Juan José (edit), (1989), *Memorias del 1° Congreso Mexicano de Historia de la Ciencia y la Tecnología*. México:Sociedad Mexicana de Historia de la Ciencia y la Tecnología.

Saldaña, Juan José (edit) (1996), *Historia Social de las ciencias en América Latina*. México: UNAM-Grupo Editoriaal Miguel ángel Porrúa.

Saldaña, Juan José, (editor) (1992), *Los orígenes de la ciencia nacional*. México: UNAM (Cuadernos de Quipu 4).

Saleska, Scott y Arjiun Makhijani (1992),*High-level Dollars Low Level Sense. A Critique of Present Policy for the Management of Long-lived Radioactive Waste and Discussion of an Alternative Approach*. New York: IEER.

Salomon Jean-Jacques, Francisco Sagasti y Celine Sachs (comp) (1996), *Una búsqueda incierta, ciencia, tecnología y desarrollo*. México, Editorial de la Universidad de Naciones Unidas-FCE (Lecturas 82).

Savannah River Office (1998), *Vitrification of Low Level Waste*. Savannah River: Savannah River Office.

Schumpeter, Joseph Alois (1978), *Teoría del desenvolvimiento económico; una investigación sobre ganancias, capital, crédito, interés y ciclo económico*. México: FCE (edición consultada: 1994).

Scranton, Philip, "Determinism and Indeterminacy in the History of Technology, *Technology and Culture*, (s.f).

Seaborg, Gleen T. and William R Carliss (1971), *Man and the Atom. Building a New World Through Nuclear Technology*. New York: Dutton and Co.

Seaborg, Glenn T., (1969), "Issued afternoon of May 11 at Denver", Office Diary, Chr. USAEC 1961-72), Folder-page 101090, 911021, Confirmed to be unclassified autohorithy:DOE-DPC by R. Hamburger 7/17/86.

Secretaría de Energía Minas e Industria Paraestatal (1985), *Legislación nuclear*. México: SEMIP (Cuadernos Jurídicos 5).

Shapiro Fred C. (1981), *Radwaste*. New York: Random House.

SIPRI (1985), *World Armaments and Disarmant. SIPRI Yearbook*. London: Taylor & Francis.

Sherwin J. Martin (1977), *A World Destroyed: The Atomic Bomb and the Grand Alliance*, Nueva York: Vintage Books.

Shipman, Thomas L. Health Division Leader) (1951), "H-Division Progress Report (about Greenrun Opration)", DOE/OPENESS, LANL, Rg 326 US Atomic Energy Commission, F 28 b74 Records Center, Classified file, 1950.

Solomon, Norma, (miembro del Staff Researcher Committe for U.S. Veterans of Hiroshima and Nagasaki) *Carta a Ms Ellen L. Goldstein*, (Assistant Director of Domestic Policy Staff of the Withe House). s.c: s.e. (doc. del Archivo Histórico del Departamento de Energía.

Special Commission of International Physicians for the Prevention of Nuclear War y The Institute for Energy and Enviromental Research (1995), *Nuclear Wastelands. A Global Guide to Nuclear Weapons Production and its health an Enviromental Effects*. Virginia :MIT Press.

Stather, J., C. Muirhead, and R. Cox (1995), "Radiation Induced Cancer at Low Doses and Low Doses Rates", Radiation Protection Bulletin, July, n°167.

Stenehjem Gerber, Michele (1992), *On the Home Front. The Cold Legacy of the Hanford Nuclear Site*. Lincoln-London: University of Nebraska.

Stoffle, Richard W., David B. Halmo et al. (1990), *Native American Cultural Resource Studies at Yucca Mountain, Nevada*. Las Vegas: Institute for Social Research/The University of Michigan.

Trevor Williams (1987), *Historia de la tecnología desde 1900 hasta 1950 (II)*. México: Siglo XXI, 5 vol.

Toyoda, Toshiyuki (1985), "La política de Japón desde 1945", en *The Bulletin of Atomic Scientists*, agosto, vol. 41, N°7.

Tsipis, Kosta (1984), "Blast, Heat, and Radiation" en (Denis [editor], 1984).

US Department of Energy, (s.f.), "Memorandum for Director through Biomedical Advisor, Dosage Reconstruction, Hiroshima and Nagasaki", Openess, 67677.

U. S. Department of Energy, *Remedial Programs*. Washington, Comission of Hazardous Materials & Waste Management Division.

US Department of Energy, (s.f.), "Report on the Atomic Bomb thrown Hiroshima", Openess, Stafford Warren, DOE/UCLA, s.f., 140344.

US Department of Energy (1994), *National Atomic Museum Albuquerque*, Nuevo México.

US Department of Energy (1995), *The Stockpile Stewardship and Management Program. Maintaining Confidence in the Safety and Reliability of the Enduring U.S. Nuclear Weapon Stockpile*. Washington D.C., Office of Defense Programs.

US Department of Energy (1995), *Total Quality Management Plan*, Washington D.C., Office of Civilian Radiactive Waste Management, 1995.

U.S. Department of Energy (1994), *Trinity Site*. Albuquerque: National Atomic Museum.

U.S. Department of Energy/History Division (1993), *Site History of Idaho (escrita por Goldman David)*. s.c. , Office of Enviromental Restoration and Waste Management.

U.S. Department of Energy/ Office of Civilian Radioactive Waste Management, (1995) The Nuclear Waste Policy Act, As Amended. February.

US Department of Energy/Office of Civilian Reridirective Waste Mnnrgement (1996), *Very Important Points About Yucca Mountain*, Nevrdr, Nov. , (Yuccr Mountrin P oyect Studies).

US Department of Energy/Office of Civilian Reridirective Waste Mnnrgement (1995) *Yuca Mountain Studies*, Wrshington D.C.

U.S. Department of Energy/Office of Energy/Office of Environmental Restoration and Waste Mnnrgement (1993), *Legend and Legacy: Fifty Years of defense Production at the Handford Site*. (esc itr po Ge be M.S.) Richlrnd: Wetinghouse Hrnfdo d Comprny.

U.S. Department of Energy/Office of Environmental Mnnrgement (1996), *Accelerating Cleanup Path to Closure*, June.

U.S. Department of Energy /Office of Environmental Mnnrgement (1995), *Closing the Circle on Splitting of the Atom*. Wrshington D.C., ene o.

US Department of Energy/Office of Environmental Mnnrgement (1995), *Estimating the Cold War Mortgage. The 1995 Baseline Enviromental Management Report*, Ork Ridge, 2 vol.

US Department of Energy/Office of Environmental Mnnrgement/Office of Science and Technology (1996), "Lrsrgnr (TM) Soil Remedrtion. Innovrtive Technology Summr y Repo t", en *Weapons Complex Monitor.Waste Managament Clean Up* (1996), Wrshington D.C., Exchrnge/Monito Publicrtions Inc., 14 de junio, vol. 7, N° 40.

U.S. Department of Energy/Office of Environmental Restoration and Waste Mnnrgement/Office of Technology Development (1994), *A National Program*, Feb ur y.

U.S. Department of Energy/Office of Environmental Restoration and Waste Mnnrgement (1993), *Site History of Oak Ridge Reservation*. (Bo rdo esc ito po Dirn O Belmge). Ork Ridge.

U.S. Department of Energy/Office of Environmental Restoration and Waste Mnnrgement (1993 r), *Site History of Savannah River*. (esc itr po Mr y Ellen Brtes y Krth in G. No seth) (D rft).

U.S. Department of Energy/Office of Environmental Restoration and Waste Mnnrgement (1993 b), *The Handford Site: An Antohology of Early Histories*. (Esc itr po Ge be M.S.) Richlrnd: Westinghouse Hrnfdo d Comprny.

U.S. Department of Energy/Office of Environmental Restoration and Waste Mnnrgement (1994), *Office of Technology Development a National Program*, Ork Ridge, (Revision 1).

US Department of Energy/Openess (1979), "Memorandum for Director through Biomedical Advisor, Dosage Reconstruction, Hiroshima and Nagasaki", 67677, 11/sep/1979.

U.S. Department of Energy/UCLA, "Report on the Atomic Bomb thrown Hiroshima", 140344.

U.S., Enviromental Protection Agency (1983), "Standards for Remdial Action at Inactive Uranium Processing Site", EPA40 CFR, part 193, in Federal Register vol. 48, N°3 Washington D.C., January 5.

(U.S./ INEL (1997), *E.B.R.*, Idaho, February.

U.S Navy (1998), *Navy Fact File. Trident Fleet Ballistic Missile*, s.c..

U.S. Navy (1998), *United States Submarine Fleet Ballistic Missile Submarines*. s.c.

Wait T.H. (s.f.), *Operation and Maintenance of the New Waste Calcining Facility*. Idaho: Westinghouse Idaho Nuclaear Company Idaho National Engineering Laboratory Idaho Falls.

Washington Post, (1945), "B29s Blast Jap Naval Arsenal", 7 de agosto.

Washington Post, (1945), "Atomic Bomb Shakes Japan", 7 de agosto.

Weapons Complex Monitor.Waste Managament Clean Up (1996), "At Fernald...Hourly Workers Suffer Higher Lung Cancer Rates", Washington D.C., Exchange/Monitor Publications Inc., 1 de julio, vol. 7, N° 42.

Weapons Complex Monitor.Waste Managament Clean Up (1996),"At Rocky Flats... Excavation of Trenches Accelerated", Washington D.C., Exchange/Monitor Publications Inc., 7 de junio, vol.7, N° 39.

Weapons Complex Monitor.Waste Managament Clean Up (1996), "At Savannah River... Solid Waste Technologies To Be Demostrated", Washington D.C., Exchange/Monitor Publications Inc., 15 de julio, vol. N° 43.

Weapons Complex Monitor.Waste Managament Clean Up (1996),"Cesium found in Bore Holes at Handford Tank Farm", ", Washington D.C., Exchange/Monitor Publications Inc., 31 de mayo, vol. 7, N° 38.

Weapons Complex Monitor.Waste Managament Clean Up (1996)," Interview on the Newest Privately Developed Mixed-Waste Treatment Facility. Dewey "Budy Alford, Vice President, Waste Control Specialists", Washington D.C., Exchange/Monitor Publications Inc., 22 de julio, vol. 7, N°44.

Weapons Complex Monitor. Waste Management Clean Up (1996), "On WIPP. Senate OK's WIPP Bill In Line With DOE Interests",., 24 de junio, vol. 7, N° 41.

Weath, Spencer R. (1988), *Nuclear Fear: A History of Images*. Massachusetts: Harvard University Press.

Weisman, Jonathan (1997), "1982 Plan to Divide Waste Burden Faded", *Government and Commerce*, CQ, April 19.

Whiple, Chris G. (1996), "Can Nuclear Waste Be Stored Safely at Yucca Mountain?. Studies of the Mountain's History and Geology Can Contribute Useful Insights But Not Unequivocal Conclusions", *Scientific American*, June, 1996.

Winner, Langdon (1986), *The whale and the reactor*. Chicago-Londres: The University of Chicago Press.

WISE Uranium Project (1998), *Uranium Mining and Indigenous People*. Nuevo México, s.e..

Zachary, G. Pascal, "Vannevar Bush backs the Bomb", *The Bulletin of Atomic Scientists*, Nov/Dec/1992.

Zorpette, Glenn (1996), " Hanford's Nuclear Wasteland", *Scientific American*, may. (s. v. , s. n).