

C. N. E. A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
NO 1	AÑO 1976

06.76.18.

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION

GERENCIA DE PROTECCION RADIOLOGICA Y SEGURIDAD
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE PROTECCION

LOS PROGRAMAS NUCLEARES, LA CONTAMINACION RADIOACTIVA
Y EL MEDIO AMBIENTE

ING. RICARDO E. PAUER

R E S U M E N

En primer término se comentan algunos de los efectos causados por la actividad humana sobre el ambiente y sus posibles consecuencias sobre el hombre para tratar de establecer en qué casos y cuándo puede considerarse que una cierta actividad "contamina".

Luego se analiza el problema desde un punto de vista económico y se trata especialmente el tema energía Vs. medio ambiente considerándose las previsiones de generación, particularmente de energía eléctrica, para los próximos años.

Se enumeran las distintas formas de generación de electricidad y se comentan las ventajas de la energía eléctrica de origen nuclear. Se comentan, además, las cuestiones que comúnmente son criticadas en las centrales nucleares: la gestión de los residuos radioactivos de actividades alta y baja y los problemas de seguridad nuclear.

A continuación se trata el problema específico de los residuos radioactivos comenzando por explicar algunos principios y normas de protección radiológica, principios de salud pública, relación dosis-efecto para las radiaciones de origen nuclear, límites de dosis, etc.

Se explica el movimiento de los radionucleídos liberados en el ambiente, las posibles vías de contaminación e irradiación humana y se esboza la forma en que se calcula la capacidad radiológica de un ambiente dado. Además se analizan las cuestiones que se tienen en cuenta para fijar límites de descarga de radionucleídos al ambiente.

Luego se resume a grandes rasgos cómo se realiza la gestión de los residuos radioactivos de manera de cumplimentar todo lo establecido anteriormente. Finalmente y a los fines de brindar una información más asequible a quienes no están comprometidos con el tema, se comparan valores de dosis recibidas por la población debido a la existencia de centrales nucleares con las dosis que recibe esa misma población del fondo natural de radiación.

RESUMEN

de la Conferencia dictada el 14.11.73
sobre LOS PROGRAMAS NUCLEARES,
LA CONTAMINACION RADIOACTIVA Y EL MEDIO AMBIENTE

por el Ing. Ricardo E. Pauer
de la COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

en las II JORNADAS DE ACTIVIDADES SUBACUATICAS
(Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacio-
nal de Buenos Aires)

C O N T E N I D O

I	<u>INTRODUCCION</u>	Pág. 1.
II	<u>ASPECTOS ECONOMICOS</u>	" 5.
III	<u>ENERGIA Y MEDIO AMBIENTE</u>	" 7.
IV	<u>LAS DISTINTAS FORMAS DE GENERACION DE ELECTRICIDAD</u>	" 11.
V	<u>LA ENERGIA NUCLEAR</u>	" 13.
VI	<u>LOS RESIDUOS RADIOACTIVOS</u>	
	-Principios de Protección Radiológica.	" 15
	-Capacidad Radiológica	" 20
	-La gestión de los residuos radioactivos.	" 23
VII	<u>COMPARACION CON EL FONDO NATURAL DE RADIACION</u>	" 24

* * *

INTRODUCCION

Si bien no competè a nuestra capacidad profesional un panorama tan amplio como el que presenta la cuestión de la protección del ambiente, sí nos interesa tratar el tema específico de los problemas producidos por los residuos radioactivos. A fin de brindar algunos elementos de juicio necesarios para una mejor comprensión del problema, tal vez resulta conveniente comentar previamente algunos aspectos generales relacionados con la contaminación del ambiente.

Damos por supuesto que debemos estar firmemente convencidos de la necesidad de conservar nuestro ambiente pero no debemos olvidar que también debemos conservar nuestra propia forma de vida. No sería lógico considerar que el ambiente que rodea al hombre sea más importante que el hombre mismo.

El hombre es tanto criatura como modificador de su medio ambiente, el cual le da sustento físico y le brinda oportunidades para su desarrollo intelectual, moral, social, etc. En la larga evolución de la raza humana sobre la tierra se ha alcanzado una etapa en la que, a través de un rápido crecimiento en la ciencia y la tecnología, el hombre ha adquirido el poder de transformar su medio ambiente en incontables caminos y en una escala sin precedentes. Ambos aspectos del ambiente que rodea al hombre, tanto la parte que se mantiene natural como la que él ha modificado, son esenciales para su bienestar y para el disfrute de los derechos humanos básicos, incluyendo el derecho a la vida misma. La protección y el mejoramiento del ambiente que rodea al hombre es uno de los factores más importantes que contribuirá al bienestar y al desarrollo económico de todo el mundo.

El hombre se ha encontrado constantemente sumido en una carrera de experiencias, descubrimientos, inventos, creaciones, etc., en otras palabras: avanzando. Actualmente, la capacidad del hombre para transformar sus alrededores, si es usada sabiamente, puede proporcionarle los beneficios del desarrollo y la oportunidad para el mejoramiento de su nivel de vida. Errónea o descuidadamente aplicado, el mismo poder puede ocasionar un incalculable daño a los seres humanos y al ambiente que los rodea.

La primera etapa en cualquier discusión sobre contaminación, sea esta producida por materiales radioactivos o por cualquier otro tipo de material o acción, debe estar orientada a determinar qué se entiende por "contaminación" y a establecer el verdadero significado y alcance de este término, y sus implicancias económicas.

Estas palabras se usan para significar cambios que van en detrimento de nuestro medio ambiente, sea por adición de productos residuales o por cambios producidos, por ejemplo, por trabajos ingenieriles. No todos los cambios que se producen en estos casos constituyen una contaminación sino sólo aquellos que resultan en un cierto grado de deterioro.

Así un hombre que fuma un cigarro en medio de la pampa no puede considerarse como una causa de contaminación; la misma opinión tendríamos seguramente sobre la aceptabilidad de la concentración de humo en un local donde se ha celebrado alguna reunión. Pero seguramente muchos de nosotros consideraríamos que sería peligroso vivir en esa atmósfera continuamente. Cada caso individual puede ubicarse entre estos dos extremos. La parte sustancial de cualquier discusión sobre contaminación depende, en definitiva, de en qué punto intermedio nos ubiquemos.

El punto de partida más simple es el de los ambientalistas puros, que dicen cosas tales como "la contaminación es algo malo; debe ser totalmente detenida, tanto ahora como en el futuro, etc.". Este punto de vista resulta demasiado simple en esta época de enormes adelantos tecnológicos, con los problemas complejos que este adelanto trae aparejados y debe ser temperado por la realidad.

Sabemos que muchos animales improvisan sus condiciones de vida modificando su medio ambiente. La diferencia con el hombre reside en que este último es capaz de producir cambios mucho más dramáticos en su medio ambiente que cualquier otro animal. Desde la época del hombre de las cavernas, él ha tratado de modificar su medio ambiente adecuándolo a sus propios propósitos y a lo que podemos llamar, su búsqueda de la felicidad.

Sin embargo, debemos reconocer que en esta búsqueda hemos cambiado nuestro ambiente en un grado tal que muchas veces constituye algo de contaminación. Esto no quiere decir que hemos sido descuidados con nuestros productos residuales de cualquier especie, aunque quizás esta sea la forma más obvia de contaminación y el significado que la mayor parte de la gente le da a este término.

Lo que se quiere significar es que el hombre, por el mero hecho de vivir en su medio ambiente, lo ha dañado en parte. No se puede construir una ciudad y pretender que no se dañe el ambiente; tampoco se puede construir una autopista, un

complejo hidroeléctrico, etc. y seguir pretendiendo lo mismo.

La cuestión que debemos responder es no como evitar la contaminación sino como controlarla y llegar a un equilibrio entre nuestra propia existencia y nuestro medio ambiente. No es ningún mérito tener un ambiente puro y limpio como el que podemos encontrar en medio de un parque nacional si todo lo que podemos hacer en él es sentarnos y observar; en muchos lugares de la tierra donde todavía se goza de un límpido cielo azul, un poco de humo sería bienvenido si eso significara un alivio a la pobreza del lugar.

Cualquier evaluación racional de nuestra situación actual debe llevar a la conclusión de que el hombre ha contaminado grandemente parte de su medio ambiente y que el es culpable, en el mejor de los casos, de negligencia y en otros se puede argüir negligencia criminal.

Podemos ver a nuestro alrededor una creciente evidencia del daño que el hombre ha producido en muchas regiones de la tierra: niveles peligrosos de contaminación en agua, aire, tierra y seres vivientes; disturbios indeseables cada vez mayores en el balance ecológico de la biósfera; destrucción y agotamiento de recursos naturales irreemplazables, etc.

Aún ahora le estamos haciendo cosas a nuestro ambiente que pueden ser irreversibles o por lo menos lo suficientemente serias como para producir importantes cambios climatológicos. Como ejemplo se podrían mencionar dos casos, los cuales son ciertamente legítimos aunque finalmente puedan resultar no del todo bien fundamentados: la combustión de los combustibles fósiles ha incrementado el porcentaje de dióxido de carbono en la atmósfera, lo que ha modificado el equilibrio entre la energía radiante que nos llega del sol y la que sale de la tierra. Esto, eventualmente podría resultar un incremento de la temperatura media de la tierra y en mayores cambios en la forma del casquete polar.

Actualmente se sabe que los gases de escape y las partículas provenientes de los jets que sobrevuelan a gran altura el Atlántico han producido un incremento significativo de la nubosidad que cubre el área y esto también podría modificar nuestro balance calórico. (1), (2), (3).

El contenido de agua de la atmósfera es regulado por la precipitación, pero el de dióxido de carbono lo es por mecanismos mucho más lentos como la fotosíntesis y la mineralización, lo que hace que este contenido aumente continuamente.

Aquí nos encontramos con situaciones donde los residuos, realmente inócuos en pequeñas cantidades, pueden llegar a ser intolerables en las grandes cantidades que nuestro actual desarrollo tecnológico puede llegar a producir. Y no nos olvidemos del petróleo. El abuso que se está haciendo de él puebla el aire y las aguas de materias que atentan contra la salud.

Como dato ilustrativo en 1970 se quemaron, en Alemania Occidental solamente, cien millones de toneladas de petróleo y sus derivados. Ello dejó en la atmósfera los siguientes residuos: 1,55 millones de toneladas de dióxido de azufre; 1,5 millones de toneladas de óxido nítrico; un millón de toneladas de hidrocarburos y 8 millones de toneladas de monóxido de carbono. (4)

Una importante etapa será alcanzada cuando el hombre logre plasmar sus acciones a través del mundo con un mayor cuidado y prudencia por las posibles consecuencias ambientales. A través de la ignorancia o la indeferencia podemos hacerle un daño masivo irreparable al medio ambiente que rodea la tierra, del cual nuestra vida y nuestro bienestar dependen.

Inversamente, con profundos conocimientos sobre estos problemas, y acciones tomadas con sabiduría podremos obtener, para nosotros y para la posteridad, condiciones de vida mejor en un ambiente mas de acuerdo a las necesidades y esperanzas de la raza humana.

Existe una amplia perspectiva para el mejoramiento de la calidad de nuestro ambiente y la creación de mejores condiciones de vida. Esto, precisamente, ha sido y es el objeto de una calma pero entusiasta búsqueda por parte de muchos ambientalistas y técnicos. Para este propósito el hombre debe usar sus conocimientos para construir, en colaboración con la naturaleza, un ambiente mejor. Defender y mejorar nuestro ambiente para las generaciones presentes y futuras se ha convertido en una imperativa meta para la humanidad, meta que deberá alcanzarse junto y en armonía con otras metas de paz y desarrollo económico y social para todo el mundo.

Para alcanzar esta meta ambiental será necesario que tanto las ciudades y comunidades como así también las empresas e instituciones en todos los niveles acepten una serie de responsabilidades en forma equitativa y aúnen esfuerzos en este sentido.

A este respecto conviene recordar algunos conceptos de la Declaración de Principios de la Conferencia de las Naciones

Unidas sobre el Medio Ambiente, realizada en Estocolmo en Junio de 1972. (5) "...los recursos naturales de la tierra, incluyendo el aire, agua, la flora, la fauna, tierra y ciertos sistemas ecológicos especialmente representativos deben ser protegidos para beneficio nuestro y de las futuras generaciones a través de apropiados y cuidadosos sistemas de gestión..."; "... la capacidad de la tierra para producir recursos vitales renovables debe ser mantenida y, de ser posible, reestablecida o mejorada..."; "...Los recursos no renovables deben ser empleados de tal forma que estemos resguardados del peligro de su futura extinción y que los beneficios así obtenidos se distribuyan en toda la humanidad..."; "... La descarga de sustancias tóxicas, u otras sustancias, y la eliminación de calor en cantidades o concentraciones tales que excedan la capacidad del ambiente para su dilución o disipación en forma segura debe ser detenida a fin de asegurar que no se hagan daños irreversibles sobre algunos sistemas ecológicos..."

ASPECTOS ECONOMICOS.

El elevado nivel de desarrollo tecnológico de nuestra época se ha logrado dentro de un sistema económico convencional, donde la consideración principal es la tasa de ganancias anticipada en relación a los recursos comprometidos.

Lamentablemente, el interés en obtener un resultado financiero óptimo hizo que se dejara de lado la atención a los efectos secundarios indeseables del progreso tecnológico en el ambiente natural. La creciente ansiedad por el deterioro ocurrido en el ambiente no sorprende, en realidad este interés ha surgido con demasiado retraso.

El nuevo enfoque económico requerido para lograr nuestro propósito, el mejoramiento del medio ambiente, debe tener en cuenta la evaluación financiera completa de un proyecto, incluyendo los efectos totales. Por ejemplo, al establecer una nueva planta industrial, asignamos dinero para el terreno, la construcción, mano de obra, equipos y personal. Pero, durante el proceso, también consumimos o contaminamos parte de nuestros recursos naturales. De esta manera hemos acumulado ciertas deudas con la naturaleza. Por ejemplo, los miles de kilómetros de cursos de agua contaminados por los

desagues ácidos de las minas demuestran que, de acuerdo con las normas de hoy día, el precio del carbón en el pasado era demasiado bajo. Dicho precio no incluía el costo de impedir que se ocasionaran daños graves y perdurables al ambiente.(6)

Esto no significa que deba detenerse todo desarrollo que cause variaciones en el ambiente. En muchas partes del mundo, repitámoslo, donde poseen un brillante cielo azul, un poco de humo sería bienvenido si significara un alivio para la pobreza del lugar.

En el caso de la evaluación económica de una instalación dada, debe comprenderse que su construcción implicará el consumo de terrenos que están usándose con otro fin, el uso de aire y agua, y la descarga de subproductos a la tierra, el aire o el agua. Entre estos subproductos se hallan el calor, los gases, partículas de materia y materiales radioactivos. Si bien estos efectos de la instalación mencionada en el ambiente pueden parecer indeseables, también deben considerarse los beneficios suministrados por dicha instalación al ambiente económico-social.

Es obvio que podemos evitar por ejemplo la contaminación ambiental por productos radioactivos no usando la energía nuclear, disminuyendo el uso de isótopos en hospitales, industrias, etc. y aceptando la correspondiente forma de vida más indigente.

Igualmente podríamos alejar el "smog" de las ciudades prohibiendo las máquinas de combustión interna. Que estas soluciones, practicables o no, sean aceptadas por la comunidad, parece bastante improbable. En miras del mejor interés de la comunidad serán consideradas como inaceptables. Lo que tenemos que hacer es buscar soluciones que eviten los extremos de la contaminación incontrolada.

Estas soluciones ya fueron encontradas para la radioactividad pero todavía hay mucha gente que debe ser convencida de ello.

En los países subdesarrollados (en desarrollo) la mayor parte de los problemas ambientales son causados por el subdesarrollo mismo. Millones de personas continúan viviendo muy por debajo de los niveles requeridos para una existencia humana decente, privados de resguardo, educación, comida, vestido, salud, etc. adecuados. Por lo tanto, los países subdesarrollados deben dirigir directamente sus esfuerzos al desarrollo pero teniendo en cuenta no solo sus prioridades sino también la necesidad de salvaguardar y mejorar el

ambiente. Para este mismo propósito, los países industrializados deberían dirigir sus esfuerzos a disminuir el abismo existente entre ellos y los países subdesarrollados.(5)

Existen otras formas de polución que, en algunos lugares, han llegado a ser de proporciones casi desastrosas. Las soluciones que aporta la ingeniería a estos problemas son casi siempre asequibles. El problema es fundamentalmente monetario y es necesario desarrollar algún método que nos permita decidir cuanto de nuestras crecientes disponibilidades económicas podemos distraer para los problemas de control de la contaminación.

Una vez resuelto esto, tiempo y dinero, podremos reducir la contaminación a niveles aceptables. Pero si el hombre no aprende a controlar sus cifras, no habrá ni tiempo ni dinero, y eventualmente ni siquiera la posibilidad. (1)

ENERGIA Y MEDIO AMBIENTE.

Debemos tener bien presente que el objetivo básico al que apuntan los programas nucleares en la obtención de energía, y por lo tanto los posibles riesgos de la contaminación radioactiva debemos valorarlos en relación a los beneficios que podemos obtener de esa energía. Además, tampoco debemos olvidar que de cuanto más energía dispongamos, en mejores condiciones estaremos para mejorar el medio ambiente. Si bien los programas nucleares no solo producen energía sino también otros subproductos como los radioisótopos y las radiaciones, cuyas aplicaciones e importancia no es necesario resaltar, es de hacer notar que el análisis de los problemas ambientales derivados de la generación nucleoelectrica, en lo que respecta a residuos radioactivos, es practicamente extensivo a la totalidad de los programas nucleares, ya que la mayoría de los residuos como así también otros factores relacionados con la contaminación, aparecen dentro del ciclo del combustible de los reactores de potencia; es decir directamente relacionados con la generación de electricidad.

El mundo moderno, tal como lo conocemos y practicamos, se asienta en alto grado en el consumo de energía, satisfecha a su vez en elevada proporción con petróleo, gas natural (hidrocarburos), etc.

Así como podemos decir que si el oxígeno de nuestras atmós-

fera se agotára, la vida humana desaparecería de nuestro planeta, podemos decir también que si la energía se agotára, la vida moderna, tal como la conocemos y practicamos, se acabaría. Para el hombre, sin oxígeno no hay vida y sin energía no hay vida moderna.

Felizmente lo uno y lo otro es remoto, pero dos factores van a incidir sobre ello prontamente: la contaminación ambiental y el agotamiento de las fuentes de petróleo.

En muchas discusiones que tienen lugar en la actualidad sobre la cuestión de la contaminación del medio ambiente parece aceptarse, tácita o explícitamente, una especie de principio de exclusión entre la salubridad ambiental y la abundancia de energía.

Este principio ha sido enunciado en forma extrema afirmando que "toda energía contamina". Las consignas de este género responden a una finalidad legítima, como es señalar a la atención pública un importante problema ambiental, pero también existe el peligro de que la actitud de considerar que la energía es de por sí nuestro "enemigo" contribuye a centrar la atención sobre un falso problema, y sea incluso contraproducente para la obtención de un medio ambiente puro.

El argumento en favor de reducir el consumo total de energía es más o menos el siguiente: nuestra capacidad de producir energía eléctrica barata y abundante y de consumirla (a expensas del ambiente) nos induce a ponerla al servicio de una población en expansión, que cada vez consume "per cápita" más bienes y servicios, la mayoría de los cuales provienen de técnicas perjudiciales para el medio ambiente y no contribuyen a una vida mejor.

Sí, prosigue este razonamiento, restringimos el empleo abusivo e imprudente de la energía, eliminaremos estas técnicas, hallaremos otras menos nocivas, y tanto el hombre como la naturaleza saldrán ganando considerablemente.

Esta premisa es en parte verdadera: en efecto, extraemos y explotamos recursos energéticos de manera perjudicial para el medio ambiente. Además, hemos promovido y estimulado técnicas que, hay que reconocer, hacen más problemática la vida en vez de mejorarla. Es innegable que deberíamos reducir el despilfarro y el consumo innecesario de energía. Por suerte en nuestra sociedad es cada vez más clara la tendencia contra los artículos innecesarios o superfluos y en favor de valores más duraderos, y estamos presenciando ya ciertos fenómenos que tal vez afecten al ritmo de crecimiento

del consumo de energía. Estos fenómenos son muy variados, desde el uso de automóviles más pequeños y de medios de transporte públicos hasta la adopción de un estilo de vida más austero. Ahora bien, es esencial considerar los aspectos cuantitativos de esta cuestión: Qué economías pueden conseguirse en el consumo de energía reduciendo o eliminando los usos que quepa razonablemente suponer que la sociedad admitirá como prescindibles?

Qué usos resistirán todas las pruebas para saber si son esenciales, y qué aumento experimentará probablemente este uso esencial de la energía a medida que los sectores menos desarrollados de la población mundial avancen hacia un bienestar relativo y la población crezca en la medida prevista en los próximos años?

Uno de los problemas estriba en saber lo que ha de considerarse secundario. Acaso estemos de acuerdo en que es posible vivir sin, por ejemplo, cepillos eléctricos de dientes, pero los equipos climatizadores (calefacción y aire acondicionado) son prescindibles?

Si renunciamos a los cepillos eléctricos de dientes pero no a los climatizadores, cuanta energía ahorraremos?

Es un error muy extendido creer que la proliferación de aparatos eléctricos en el hogar es la causa de nuestra gran demanda de electricidad. La realidad es que el empleo intermitente de estos artefactos de bajo consumo solo representa un bajo porcentaje de la demanda total.

En realidad son los equipos climatizadores, calentadores eléctricos y otros artefactos grandes, lavarropas, secadores, etc., los que originan la mayor parte de la demanda doméstica de energía.

Por lo tanto, debemos considerar de manera realista nuestras necesidades crecientes en materia de energía. Esto no es abogar por un aumento incontrolado de la población ni por un consumo ilimitado de electricidad. Hay que imponer límites a la producción y consumo de electricidad, y a las maneras como se produce y utiliza, a fin de restringir su influencia global sobre el medio ambiente.

La mayoría de las técnicas, en especial las de producción de energía, pueden perfeccionarse enormemente si estamos dispuestos a pagar el precio, es decir, disfrutaremos de los beneficios que brinda siempre que admitamos unos gastos que antes se pagaban en forma de contaminación del medio ambiente

La mayoría de los procesos tecnológicos que requieren grandes cantidades de energía no se han concebido simplemente por que se dispusiera de energía a bajo costo. Las calles no están llenas de automóviles porque la nafta sea barata; no se inventaron los equipos de aire acondicionado o las heladeras porque la electricidad también lo fuera; tampoco hemos recurrido al aluminio, cemento o los plásticos porque dispusiéramos de electricidad para fabricarlos.

Estas novedades tecnológicas se han realizado porque responden a necesidades sentidas por la población en un momento dado. Ciertamente que algunas de estas necesidades son menos vitales que otras, sin embargo, se trata de necesidades reales a las que esas técnicas respondían y siguen respondiendo.

Actualmente los países subdesarrollados comienzan a sentir las mismas necesidades. En otros términos, los países pobres comienzan a sentir las mismas necesidades de energía y no tienen la menor intención de seguir en ese estado. Su mundo está lleno de ambiciones frustradas, de deseos cada vez más acuciantes de bienes de consumo útiles.

Estas reivindicaciones son tan naturales como firmemente mantenidas y es poco probable que los países privilegiados puedan descartarlas en nombre del mejoramiento del medio ambiente.

El declarar a la energía como "enemigo", cuando en realidad es la clave de una vida mejor equivaldría a declararnos como enemigos a nosotros mismos. El enemigo no es la energía sino la energía acompañada de contaminación.

Consideremos la demanda de energía en relación con la electricidad. A pesar de su crecimiento, la electricidad solo constituye hoy día alrededor de una cuarta parte de la energía total consumida. Además, cuando el consumo de electricidad crece, gran parte de este crecimiento se debe a que se ha abandonado la utilización de otra fuente primaria de energía, un combustible como el carbón, el gas o el petróleo. Cabe citar, a título de ejemplo, el reemplazo en la industria, de los procesos térmicos por los de tipo electrolítico o electromagnético; el empleo de hornos eléctricos en la fabricación del acero en vez del clásico horno de combustión, el uso de los sistemas eléctricos de calefacción en lugar de las estufas a carbón o petróleo, y el empleo de medios rápidos de transporte movidos por electricidad en lugar de automóviles individuales movidos a nafta.

Como la electricidad es una fuente limpia, cómoda, fácil de manejar y susceptible de múltiples usos, la proporción de la energía total que se transforma en electricidad ha ido en aumento. En los Estados Unidos creció desde el 8% en 1920 a cerca del 25% hoy día. Según las predicciones excederá el 30% en 1980, el 40% en 1990 y alrededor del 50% en el 2000.

Como se explica esta predicción? Desde luego la explicación no es que cada casa estará llena de pequeños artefactos eléctricos, sino que, en el sector doméstico, aumentará el número de grandes aparatos por hogar, a la par que la proporción de hogares que estarán equipados con estos aparatos.

En el sector industrial, será necesario un enorme crecimiento del consumo de energía para la protección del medio ambiente. Baste citar las plantas de purificación de agua y tratamiento de las aguas residuales, las técnicas para disminuir la contaminación de la atmósfera por las plantas industriales y plantas alimentadas por combustibles fósiles, y las técnicas de reciclado.

De donde vendrá toda esta electricidad? Durante los tres próximos decenios, aproximadamente, la mayor parte se generará quemando carbón. La transición hacia el empleo de la energía nucleoelectrónica como fuente principal de electricidad no tendrá lugar de la noche a la mañana. Aumenta y durante cierto tiempo seguirá aumentando el consumo del carbón. Hoy se queman más de 500 millones de toneladas anualmente.

Hacia el año 2000 se necesitarán más de 800 millones, tal vez 1000 millones, de toneladas anuales para generar una parte de los dos millones de megavatios que, según las previsiones, se requerirán en esa época.

La extracción, transporte y quemado de más de 800 millones de toneladas de carbón anuales en condiciones satisfactorias para el medio ambiente es una empresa titánica. Tendremos que dedicar mucho trabajo y considerables recursos a mejorar la seguridad de las minas, considerar los efectos de la extracción de carbón sobre el medio ambiente y promover los sistemas capaces de aliviar los problemas derivados de la combustión del carbón.

Se pueden conseguir importantes progresos en todos estos sectores pero, repitámoslo una vez más, no sin grandes gastos y trabajo.

LAS DISTINTAS FORMAS DE GENERACION DE ELECTRICIDAD.

La combinación de un crecimiento rápido de la población con el aumento de consumo de energía por habitante indica que la capacidad generadora debe doblarse cada diez años.

Para satisfacer esta creciente demanda de energía eléctrica la tecnología moderna provee tres tipos básicos de centrales generadoras: hidroeléctricas, de turbina a gas y de turbina de vapor.

Las centrales hidroeléctricas no producen más de un 15% de la capacidad total de generación. Dado que el número de sitios creados por la naturaleza, aptos para centrales hidroeléctricas, es limitado, no es probable que esta fuente produzca capacidad adicional.

Desde el punto de vista ecológico no son muchos los emplazamientos que se prestan a la construcción de diques con la consiguiente inundación de valles. Las centrales de turbina de gas, si bien aptas para los servicios de máxima demanda y de reserva, no son económicos para los servicios de carga básica (rendimiento no mayor del 20%), y es poco probable que haya un aumento significativo en su número relativo (actualmente alrededor de un 4 a 5%).

Por consiguiente, la mayor parte de la nueva capacidad será provista por centrales con turbinas a vapor (rendimiento entre un 31 a 38%, según el sobrecalentamiento del vapor), y los niveles futuros de contaminación ambiental estarán relacionados con esta forma de generación de energía.

El vapor puede producirse a partir de calor de origen nuclear o de combustibles fósiles. Las centrales nucleares producen emisiones de algunos radioisótopos a la atmósfera; las centrales que queman combustibles fósiles producen emisiones de partículas de materia y gases nocivos a la atmósfera; ambas centrales eliminan calor al ambiente.

Se podría decir algo sobre otras fuentes de energía de las que se habla hoy día. La energía geotérmica (o aprovechamiento del calor generado en el interior de la tierra) es una fuente que se explota en algunos lugares, pero aunque la explotación de esta energía se intensificara al máximo, es dudoso que el vapor geotérmico pudiera satisfacer más de una pequeña fracción de la demanda total de la electricidad.

No obstante debemos aprovechar al máximo esta energía "gratuita" salida de la tierra, pero no nos engañemos acerca de sus futuras posibilidades.

La situación con respecto a la utilización de la energía solar quizás sea más favorable. Posiblemente se puedan idear medios técnicos para captar, concentrar y acumular las enormes cantidades de energía, si bien de baja intensidad, emitidas por el sol, pero es dudoso que logremos ver el empleo de estas técnicas en este siglo, a menos que se destinen mucho más esfuerzo al problema.

De la misma forma sería ilusorio pensar en el empleo en gran escala y generalizado de la fusión controlada como fuente importante de electricidad durante los próximos decenios, probablemente hasta bien entrado el próximo siglo.

Con el tiempo la fusión controlada llegará a ser la fuente suprema de electricidad, alimentada por reservas prácticamente ilimitadas de combustible, el hidrógeno pesado de los océanos, pero debemos considerar con realismo el tiempo que pasará entre la conquista de la fusión en el laboratorio y los trabajos consecutivos de ingeniería, ensayo, reglamentación y preparación de los emplazamientos, necesarios para que las centrales de fusión produzcan electricidad a escala industrial.

Además debemos tener en cuenta las dificultades y reveses que podrían surgir en estos trabajos y por los enormes problemas que surgirían si recurrimos exclusivamente al carbón hasta que se generalice la fusión controlada.

Teniendo presente todo esto, podemos comenzar a hablar de la energía nuclear, una fuente limpia de electricidad, caracterizada por la ausencia de productos nocivos de combustión y por reservas que durarán siglos cuando comiencen a funcionar los reactores reproductores rápidos.

Estos reactores, que comenzarán a trabajar en forma efectiva dentro de unos diez años, constituyen nuestra esperanza más fundada para satisfacer la creciente demanda de energía económica y limpia. Por aprovechar con suma eficacia el combustible nuclear, los reactores de este tipo pueden hacer que nuestros recursos de uranio natural duren siglos en vez de decenios, con efectos mucho menores en el medio ambiente que las centrales actualmente en servicio.

Las objeciones que se formulan al desarrollo nuclear se refieren a la seguridad nuclear y la posibilidad de accidentes graves, a la descarga de efluentes de baja actividad y a la gestión de residuos radioactivos de alta actividad.

Muchos críticos de las centrales nucleares han llevado el centro de gravedad de sus ataques hacia las cuestiones de seguridad nuclear y la posibilidad de accidentes.

Olvidan o descartan años de investigación en la esfera de la seguridad nuclear, desconocen los excelentes resultados logrados en dicha esfera y raras veces se dan por enterados de las innovaciones y perfeccionamientos continuos en el

desarrollo y aplicación de las técnicas nucleares, pues fijan su atención sobre todo en hipótéticas catástrofes.

Lo que para los críticos nucleares es una tecnología que lleva en sí los germenés de un cataclismo inevitable es en realidad algo que implica menos riesgos para el individuo que casi cualquier otra actividad que desarrolle voluntaria o involuntariamente en su vida diaria.

Esto no significa que nunca vaya a ocurrir un accidente o avería en las centrales nucleares, construídas cada vez en mayor número. Desde luego que habrá contratiempos y accidentes. Sin embargo, la tecnología nuclear, a la que por su origen y naturaleza se han aplicado desde sus comienzos criterios más rigurosos que a otra, continúa progresando en lo que a la protección de la salud y la seguridad se refiere. En realidad, si todas las demás técnicas esenciales para la vida, tales como la de aprovechamiento de los alimentos, agua, aire, etc., se enjuiciasen según criterios parecidos, dadas las actitudes que hoy prevalecen, probablemente nos daría miedo comer, respirar o ejecutar cualquiera de nuestras actividades normales. La tecnología nuclear se destaca mucho más que cualquier otra por su interés y preocupación por los problemas ambientales y sanitarios.

Con respecto a la descarga de efluentes de baja actividad, ha empezado a disiparse la preocupación relacionada con este punto. El funcionamiento de las centrales nucleares, incluso el número de ellas que estará funcionando en el año 2000, supondrá, por término medio, para cada individuo solo una fracción de la radiación adicional que recibe cuando varía la radiactividad normal del ambiente en que vive, variaciones resultantes de actividades tales como trasladarse a lugares de mayor altitud, trabajar en un edificio construído con materiales de mayor radioactividad natural o aumentar la frecuencia de sus vuelos anuales en jets.

El otro tema favorito de los críticos nucleares es la gestión de los desechos radioactivos de alta actividad. El combustible, una vez agotado, se transporta a la planta de reprocesamiento en embalajes adecuados, construídos y ensayados según normas rigurosas. Entre los ensayos efectuados a fin de demostrar la capacidad de estos recipientes para resistir los accidentes más graves y conservar su integridad figuran los de caída desde torres sobre plataformas de hormigón, y los de exposición durante horas a fuegos que producen temperaturas muy elevadas. En la planta de reprocesamiento, después de separar el plutonio, el uranio no quemado y ciertos productos de fisión útiles, los residuos se almace-

nan en tanques subterráneos. Pero este no es su último lugar de reposo. Actualmente se está trabajando sobre la transformación de estos líquidos en sólidos a fin de guardarlos en una forma más segura. Estos sólidos se depositan en construcciones especiales de hormigón subterráneas o minas de sal abandonadas, que son las zonas geológicas más estables que se conocen.

LOS RESIDUOS RADIOACTIVOS.

Principios de Protección Radiológica.

Puede decirse que, con una razonable definición de contaminación, el manejo de los residuos radioactivos en los últimos treinta años se ha llevado a cabo sin causar problemas de contaminación. Gran importancia debemos asignarle a los conocimientos que permitieron evaluar previamente los peligros y posibles daños potenciales de la radioactividad y de las radiaciones. Hubiera sido sorprendente y extremadamente desolador observar que, como en otras industrias modernas, se falló en la búsqueda de soluciones para los problemas de sus residuos en el curso de su desarrollo.

Ahora que podemos considerarnos embarcados en una expansión sin precedentes de la industria nuclear, podemos deducir que es de fundamental importancia que se siga manteniendo el control de los residuos radioactivos en el futuro, comenzando a hacer planes y previsiones con suficiente anterioridad.

También podemos decir que del manejo de los residuos radioactivos podemos aprender muchas lecciones que podrían aplicarse al manejo de otros tipos de residuos convencionales.

La base para el control de los residuos radioactivos ha sido la aceptación de Normas internacionales de radiación y de principios de salud pública. Ninguna de estas partes por sí sola habría sido adecuada a nuestros propósitos.

Las recomendaciones más importantes en este tema han sido dadas en forma de límites de dosis de radiación que se permite que reciban miembros aislados de la población, completadas con la recomendación cualitativa de que la dosis total debe ser "tan baja como resulte practicable", teniendo en cuenta consideraciones de tipo socio-económico. Principalmente por razones genéticas se han adoptado recomendaciones adicionales más restrictivas para la dosis promedio en todo el cuerpo.

El ICRP* hace esas recomendaciones sobre la base de que "... se puede asumir que cualquier exposición a la radiación puede acarrear algunos riesgos con respecto al desarrollo de efectos somáticos, entre los que se incluye la leucemia y otras

* (International Commission on Radiological Protection)

enfermedades malignas, efectos hereditarios, etc. Esta conclusión significa que, debajo de los límites máximos de dosis, el riesgo de inducir enfermedades, etc. se incrementa con la dosis acumulada por el individuo.

Esto significa que no es posible establecer dosis "seguras" de radiación. El ICRP reconoce que esta es una posición conservadora y que para que algunos efectos se manifiesten es necesario recibir dosis relativamente grandes de radiación. A veces, en ausencia de otros conocimientos positivos sobre el tema, se considera que el asumir riesgos de enfermedades o daños a bajos niveles de radiación es una base razonable en el campo de la radioprotección..." (1),(7).

Proposiciones de este tipo algunas veces han llegado a ser usadas para decir cosas tales como: "Debido a que no es posible establecer un nivel seguro de radiación, no se debería permitir ningún nivel de radiación". Esto es no entender el significado de la palabra seguridad. A nosotros no nos está permitido usar, excepto en un contexto puramente filosófico, la palabra seguridad en un sentido absoluto. Nada de lo que hagamos es absolutamente seguro. Algunas personas pueden sentirse seguras comiendo en algún restaurant, pero intoxicaciones debido a comidas en mal estado es algo posible. Edificios que se derrumban producen un elevado número de víctimas y causas naturales como tormentas, terremotos, etc., también causan numerosas bajas en cualquier momento.

Nosotros no debemos preguntarnos alguna actividad humana es absolutamente segura, sino que debemos preguntar si es relativamente segura con respecto a otras cosas que consideramos satisfactorias y con relación a los beneficios que podemos extraer de esa actividad.

Las recomendaciones internacionales están hechas claramente sobre la base de aceptar correr ciertos riesgos. De acuerdo a nuestros actuales conocimientos es poco posible decir que esos riesgos puedan ser nulos. Considerando aceptadas esas recomendaciones, podríamos preguntarnos cual es el límite superior de ese riesgo o si no se incrementaría con respecto a su actual magnitud.

Por supuesto que existen varios sistemas para expresar ese riesgo. Se puede asumir que cada miembro individual del público es expuesto a una dosis justamente por encima del límite, tomar una población muy grande y expresar los resultados en por ejemplo, incremento en el número de muertes.

Estos métodos son teóricos e impracticables ya que teniendo en cuenta que es imposible diferenciar, excepto por métodos estadísticos, los casos de cancer, leucemia, etc., producidos o inducidos por las radiaciones provenientes de alguna instalación nuclear de los casos que ocurren naturalmente, se necesitaría contar con grupos numerosos de gente, a algunos de los cuales

se permitiría que recibieran cierta dosis y a otros nó, a fin de poder establecer comparaciones. Para poder garantizar la confiabilidad del dato estadístico, el número de personas que debería integrar estos grupos resultaría enorme. Por otra parte se necesitaría extender la experiencia durante varias generaciones para poder obtener un dato realmente confiable.

Otro sistema sería tomar el número de muertes por cancer y expresar el incremento hipotético en forma de un porcentaje. Ninguno de estos métodos toma adecuadamente en cuenta el hecho de que los riesgos de cancer varían considerablemente en función de la edad y que por otra parte la dosis media que recibiría la población sería considerablemente menor que la que recibirían algunos miembros aislados de la misma.

Se piensa que es mas satisfactorio tomar a miembros individuales del público y determinar que cambios se producen en su organismo al recibir dosis iguales a los límites recomendados por el ICRP.(1)

Toda nuestra información sobre los efectos de la radiación, tanto en niños como en adultos, nos viene a través de casos de irradiación aguda, o sea cortos períodos de tiempo y alta tasa de dosis, con dosis que pueden ubicarse aproximadamente entre los 100 y los 1000 Rems. Si nosotros adoptamos la posición del ICRP y asumimos que corremos el mismo riesgo por Rem recibido a razón de uno o dos Rems distribuidos a lo largo de una o dos décadas, encontramos que el límite superior de riesgo, expresado en forma de muertes, es de 1 posibilidad en 10.000 por Rem de dosis. Esto equivale a adoptar un "valor de riesgo" igual a 10^{-4} Muertes/Hombre-Rad.

Ahora debemos decidir que nivel de exposición adoptar. La dosis límite dada por el ICRP es de 0,5 Rem por año para miembros aislados de la población. (7),(11),(14).

Para determinar este valor hay que comenzar por adoptar un riesgo que resulte lógico y aceptable para el personal que trabaja en el campo nuclear.

En algunas de las industrias consideradas mas seguras y con riesgos claros y aceptados, como por ejemplo la industria química, el promedio de muertes por causas inherentes a la propia industria, es de alrededor de una muerte por año y por cada mil trabajadores.

Si suponemos que para la industria nuclear estos valores deben ser todavía más restrictivos y adoptamos la mitad de este valor, esto da por resultado, recordando la relación de 10^{-4} Muertes/Hombre-Rem, una dosis máxima anual de 5 Rem por persona, que es el límite dosimétrico para el personal que trabaja con radiaciones. Principalmente por razones genéticas y considerando que las personas que no trabajan en este campo deben correr un riesgo sustancialmente menor, se redujo la dosis

para el público en un factor diez, lo que da un valor máximo anual de 0.5 Rem por persona.(7)

Debe tenerse en cuenta que en cualquier caso relacionado con el manejo y eliminación de residuos radioactivos existe una variación en la dosis recibida en diferentes edades y también una variación en los hábitos de la gente de año en año. La dosis media para cualquier miembro aislado del público a lo largo de varias décadas deberá ser sustancialmente menor que la dosis máxima permisible en un solo año.

Debe quedar bien sentado que los cambios mencionados anteriormente se producen con los límites superiores y que tienen como base la información obtenida a partir de dosis grandes y con altas tasas de dosis. Con objeto de establecer la totalidad de las cifras se ha tenido que suponer que la tasa de dosis no hace diferencias en el riesgo por Rem.

Creemos que los trabajos actualmente en desarrollo sobre la recuperación de las células y del ADN que sigue a los daños por radiación nos dirá algún día que las exposiciones con baja tasa de dosis son mucho menos peligrosas que las exposiciones a esas mismas dosis pero con alta tasa de dosis. (1)

Mientras tanto trabajaremos sobre la base cautelosa de que los riesgos pueden ser tan grandes como nuestras suposiciones corrientes los hacen aparecer y por lo tanto debemos tomar en serio el consejo del ICRP de mantener toda exposición lo más baja que se pueda.

Aquí es donde los principios de salud pública se vuelven importantes. Estos apuntan o tienden a mantener la exposición al público para todos los contaminantes no meramente por debajo de algunas normas sino lo más bajas que puedan ser llevadas.

En forma resumida, el método básico para controlar una operación de eliminación de residuos radioactivos, consiste en tomar el límite de dosis para miembros del público y convertirlo, con ayuda de un conocimiento detallado del medio ambiente, en un límite operativo, el cual para residuos líquidos o gaseosos suele expresarse en curies por hora, mes o año.

Esto significa tomar el límite de dosis recomendado (respecto al hombre) y realizar el cálculo según los nucleídos en cuestión y el medio en el que serán descargados. En estos cálculos se tienen en cuenta factores tales como el grupo de población que probablemente estará más expuesto; la forma de exposición; los factores varios que causan dilución o reconcentración y que determinan la dosis que la gente recibirá.

El límite así obtenido, afectados de algunos factores de seguridad o de incertidumbre, se usa como límite operativo.

Al decidirse cuanto es lo que puede descargarse se ha de prestar atención a la relación entre la descarga propuesta y los límites teóricos basados en los máximos permisibles de incorporación. Una disminución de dosis desde el 100% del límite dosimétrico al 10% bien puede ser fácil de lograr y bien vale la pena hacerlo. Sin embargo, el siguiente factor 10, una reducción del 10% al 1% puede ser bastante dificultosa y en el mejor de los casos podría incrementar el beneficio en algunos décimos.

El próximo factor 10, una reducción del 1% al 0,1%, el cual nos llevaría a dosis menores que el fondo natural de radiación dificultosamente se justificaría a menos que pueda llevarse a cabo de una manera muy simple.

De acuerdo a los actuales costos y grado de desarrollo tecnológico, las instalaciones nucleares implican, para la parte mas comprometida de la población, dosis no mayores de algunos mR/año, valores claramente por debajo de los límites dosimétricos. (12),(6),(13),(8),(9),(17).

Habitualmente se considera axiomático que protegiendo al hombre individualmente se protege a los otros componentes del medio ambiente. Los límites de protección establecidos para el hombre parecen suficientes para proteger a otros elementos del ambiente debido a que son niveles que corresponden a riesgos estocásticos muy bajos sobre los individuos y menores aún sobre las especies, a las que pretende proteger como tales y no individualmente.

Probablemente existan algunos casos particulares donde puedan encontrarse altas concentraciones de material radioactivo, especialmente emisores de radiación α de período largo, y los efectos sobre ciertas especies puedan tener importancia local, pero estos casos son muy escasos y se mencionan como una posibilidad, que de presentarse debe ser tenida en cuenta.

Como, entonces, lo que interesa es la protección del hombre, ya que esto obliga a llevar las descargas a niveles mucho más restrictivos, se aplican los conceptos básicos de protección radiológica, que en el caso de una eliminación de material radioactivo al ambiente puede resumirse en tres principios:

1. La "dosis comprometida" debido a un año de evacuación no debe superar los "límites de dosis" para miembros individuales del público recomendados por el ICRP. Estos límites se aplican al "grupo crítico", es decir a un grupo seleccionado de la población, lo más homogéneo posible, que sea representativo del individuo más expuesto de la población.

2. Las dosis recibidas por el público como causa de la operación deben ser "tan bajas como sea practicable", es decir que la descarga debe limitarse hasta un valor tal en que el costo social de una posterior reducción supere al beneficio de asociable a esa misma reducción.
3. La descarga debe proceder de una operación tal que implique beneficios ciertos y positivos para la sociedad.

Capacidad radiológica

Cuando se introducen materiales radioactivos en el ambiente existen numerosas vías por las cuales cada radionucleído puede llegar hasta el hombre. La experiencia muestra que algunas de estas vías de transferencia y algunos de estos radionucleídos son netamente más importantes que otros y que, por lo tanto, son "críticos" en la evaluación del riesgo en el caso particular considerado.

Analogamente, existe en las proximidades del sitio de descarga un "grupo crítico" de miembros individuales del público para los cuales la exposición o incorporación de radionucleídos es máxima.

Si las características de dilución del ambiente considerado y el valor de los parámetros de transferencia considerados (que puedan implicar un reconcentración) son tales que, ante una operación de eliminación dada, los límites de dosis (o de incorporación de radionucleídos) no son sobrepasados en el "grupo crítico", la eliminación puede clasificarse como "segura".

De esta manera puede estimarse la "capacidad radiológica" del ambiente local para recibir residuos radioactivos, definida como la actividad anual descargada de una mezcla con una composición isotópica dada de la cual resulta una dosis comprometida a través de las vías críticas igual a los límites de dosis recomendados por el ICRP.

En toda descarga se deben tener en cuenta los procesos que influyen sobre el destino de los radionucleídos liberados. Algunos de estos procesos tienden a disminuir los riesgos potenciales por simple dilución o por remoción de la actividad de los medios de importancia radiosanitaria. Otros procesos pueden incrementar los riesgos por reconcentración de los radionucleídos, generalmente en una cadena alimenticia que puede conducir al hombre.

Si consideramos al ambiente dividido en compartimentos, se puede demostrar que no es necesario evaluar las concentraciones y las tasas de dosis como funciones temporales ya que los valores resultantes de su integración proveen la información necesaria.

La estimación de la dosis comprometida producida por descargas rutinarias se puede realizar, en principio, por medio del modelo independiente del tiempo mencionado anteriormente, llamado "modelo de equilibrio" o "modelo de los factores de concentra-

ción" debido a que algunos coeficientes de transferencia son llamados generalmente factores de concentración.

El primer coeficiente a ser considerado relaciona la descarga con la integral de concentración en el primer compartimento del ambiente (usualmente agua o aire) y de acuerdo a lo dicho anteriormente para los casos de eliminaciones rutinarias, relaciona la tasa de evacuación con la concentración en equilibrio en el agua o en el aire. Debe destacarse que esta equivalencia es válida bajo condiciones ambientales constantes.

La relación entre la integral de la concentración en el medio básico y la actividad depositada a partir del mismo sobre superficies que puedan irradiar al hombre es otro parámetro que interviene en la evaluación. Debe mencionarse que cuando el medio primario es el aire se cumple que la relación entre el depósito por unidad de tiempo y la integral de la concentración en ese medio básico es una constante denominada usualmente velocidad de depósito. En el caso de que el medio primario sea el agua este fenómeno se produce por el intercambio de radionucleídos en el lecho del curso de agua y en las partículas en suspensión (que pueden depositarse por procesos fluido-dinámicos).

Entre dos "eslabones" sucesivos de la cadena crítica el coeficiente de transferencia, denominado a veces "factor de concentración", se define como la relación en equilibrio entre la actividad por unidad de masa en ambos eslabones. El parámetro que describe la incorporación y concentración de radionucleídos por la biota es un ejemplo de este factor de concentración.

En todos los casos en que se planea la eliminación de residuos radiactivos al medio ambiente resulta necesario efectuar el estudio radioecológico correspondiente para determinar los coeficientes de transferencia que se han mencionado anteriormente.

El público es expuesto por la irradiación externa y la contaminación interna debidas a la evacuación y es conveniente analizar estas dos vías de exposición en forma separada.

En el caso de irradiación externa el último de los coeficientes involucrados en la evaluación es el parámetro dosimétrico. La magnitud de la exposición depende de la actividad presente en los materiales a los cuales están expuestos los miembros del público. En los casos de inmersión en el medio básico la magnitud que gobierna la irradiación es la concentración integrada en el tiempo de la actividad por unidad de volumen del medio.

Para evaluar la contaminación interna deberán ser determinados los parámetros que rigen la contaminación de la cadena crítica y estudiar la contribución de cada tipo de alimento a la contaminación de la dieta del grupo crítico.

Usando los parámetros antedichos es factible predecir las dosis de radiación resultantes de la incorporación de materiales radioactivos. La condición de seguridad impuesta de que la dosis comprometida debida a un año de evacuación no supere los límites de dosis se asegura haciendo que la incorporación anual no supere los "límites de incorporación", es decir, los valores de incorporación que corresponden a dosis comprometidas iguales a los límites de dosis.

La capacidad radiológica del ambiente derivada en la sección anterior suele denominarse capacidad radiológica "limitante" para ese medio ambiente. Se trata de un valor determinado teniendo en cuenta únicamente los aspectos científico-técnicos del problema sin emplear factor de seguridad alguno y sin hacer consideraciones sociales, económicas o políticas en la evaluación.

En la práctica puede haber otros factores socioeconómicos, políticos y aún científicos que pueden recomendar disminuir el valor estimado para la capacidad radiológica.

Ha sido introducido el concepto de capacidad radiológica "estipulada" denominándose así a el valor máximo de descarga al medio ambiente que fija la autoridad haciendo todas aquellas consideraciones.

Para la fijación de la capacidad radiológica estipulada se tendrá en cuenta que en la evaluación de la capacidad radiológica limitante existe razonable margen de inseguridad debido a la falta de conocimiento que generalmente se tiene sobre el uso humano del medio ambiente.

Debido a estas imprecisiones y para garantizar las condiciones de seguridad en la estimación de la capacidad ambiental se suele recomendar el empleo de factores de seguridad que, aplicados a los valores teóricos de la capacidad radiológica limitante aseguren efectivamente que en cualquier condición las dosis comprometidas se encuentran bien por debajo de los límites recomendados. Este factor de seguridad no es necesariamente un número fijo. Su valor debe ser elevado cuando las condiciones del ambiente local se conozcan pobremente y a la inversa, se podrá aceptar un factor de seguridad bajo para eliminaciones en ambientes con parámetros muy estudiados. Por otra parte, el factor de seguridad puede variar en el tiempo, disminuyendo cuando la realimentación de los datos del monitoreo ambiental demuestre que la evaluación efectuada para el medio ambiente en cuestión era correcta o aumentando en caso inverso. En la actualidad, en algunas evaluaciones se emplea un factor de seguridad inicial de alrededor de 10 cuando se conocen razonablemente los parámetros básicos.

Al efectuar las consideraciones socioeconómicas se tendrá en cuenta que la irradiación del público debe ser tan baja como resulte practicable de acuerdo al concepto descrito anteriormente.

La gestión de los residuos radioactivos.

El conocimiento de la capacidad radiológica del ambiente es la primera etapa necesaria en la planificación de un sistema de gestión de residuos radioactivos. Si la actividad a descargar es tal que supera la capacidad radiológica local, se debe, entonces, contener por lo menos parte del material radioactivo.

En estos casos el volumen de los residuos radioactivos adquiere gran importancia práctica. Mediante métodos de tratamiento adecuados se puede reducir el volumen (o sea concentrar la actividad a contener) de manera conveniente. El análisis técnico-económico de estos casos debe tener en cuenta los dos aspectos: el tratamiento y la contención posterior.

En algunos casos el tratamiento tiene como objetivo cambiar la forma de los residuos para hacerlos más fácilmente transportables o eliminables en otro tipo de ambiente de más capacidad de recepción.

El objetivo de la contención (casi permanente o temporaria) es la reducción de la actividad por decaimiento. Claramente los tiempos involucrados dependen de la magnitud de la actividad y de los semiperíodos involucrados.

En algunos casos puede usarse un proceso intermedio entre la contención y la eliminación. Los materiales son eliminados en porciones del ambiente aisladas del hombre, a partir de las cuales lentamente se liberan a otras porciones del ambiente de importancia radiosanitaria. Un ejemplo de este tipo de manejo es la eliminación de residuos en suelos.

Cuando la contención es de tipo casi permanente, el problema crucial de tecnología es hacer que el sistema de contención sobrepase en vida útil a la radioactividad.

En resumen, el manejo de residuos radioactivos puede enfocarse como:

1. Dispersión en el ambiente local, si la capacidad de este ambiente lo permite. Deben fijarse límites operacionales de descarga.
2. Contención si los residuos sobrepasan la capacidad del ambiente. La contención puede ser temporaria o tendiendo a permanente.

3. En algunos casos puede ser necesario un tratamiento previo para preparar los residuos y facilitar la solución elegida (dispersión o contención).
4. Un buen sistema de manejo de residuos radioactivos combina la seguridad con la economía operativa.

COMPARACION CON EL FONDO NATURAL DE RADIACION.

Entender el significado de los niveles de dosis de radiación usualmente permitidos en las eliminaciones de material radioactivo al ambiente no es fácil para el público, que por un lado siente que la radiación es algo rodeado de un halo de misterio, "que no se vé ni se siente", y por otro tampoco son bien conocidas sus formas de interacción y posibles efectos.

Además la interpretación de las relaciones "dosis-efecto", "valor de riesgo", etc., así como las formas en que estos valores han sido determinados, solo están al alcance de personas debidamente capacitadas en el tema.

Por eso, si queremos dejar clara la magnitud del riesgo que suponen para el público las instalaciones nucleares, es necesario hacer algunas comparaciones con otras cosas más conocidas y aceptadas. Así pues, resulta más conveniente comparar las dosis producidas por dichas instalaciones con las producidas por el fondo natural de radiación, dosis que son inevitables y recibidas por todos.

Al fondo natural de radiación aportan causas naturales como los rayos cósmicos, los isótopos radioactivos que forman parte de la tierra, los que están naturalmente en la atmósfera, los que forman parte de los materiales con que construimos viviendas, los que están en las aguas y alimentos que ingerimos, etc. Estos valores de radiación varían con la altura, de un lugar a otro, etc., pero normalmente se encuentran entre los 75 y 150 mR/año. (2),(12),(9),(11).

Existen algunos lugares donde estos valores pueden ser menores o mayores. Hay zonas en algunos países, por ejemplo Brasil, donde las dosis pueden llegar a 10 Rem/año, pero estos casos son excepcionales y debidos generalmente a la presencia de yacimientos de Torio o Uranio. (2),(13).

También causas tecnológicas no directamente relacionadas con la industria nuclear producen dosis sobre la población que se suman al fondo natural. Estas fuentes de radiación también merecen examinarse.

Por ejemplo, la exposición promedio que recibe actualmente la población en general como consecuencia de los exámenes con Rayos X para diagnóstico médico es de aproximadamente 50 mRn/año. (9),(12),(16).

Conviene destacar que las dosis producidas por los Rayos X utilizados en medicina constituyen el mayor aporte a la dosis total producida sobre la población por causas no naturales, aparte muy superior al proveniente de las instalaciones nucleares.

Mejorando las técnicas utilizadas en radiología (incorporando blindajes, colimando haces, etc.) se estima que este aporte puede reducirse a un 50% del valor actual. (9)

Finalmente podemos comparar las dosis debidas al fondo natural de radiación más las aplicaciones de Rayos X, dosis "per cápita" de alrededor de los 100 mR/anuales y las variaciones normales de dicha dosis de + 50% con las de algunos mR anuales producidas por las instalaciones nucleares.

De esta forma, considerando objetivamente la emisión de las centrales y demás instalaciones nucleares, vemos que constituyen el riesgo ambiental más cuidadosamente controlado de todos y que dichas centrales pueden, por lo tanto, proveer una solución aceptable al problema energético.

B I B L I O G R A F I A

- (1) THE AVOIDANCE OF POLLUTION IN THE DISPOSAL OF RADIOACTIVE WASTES - H.J. Dunster.
The Northwest Conference on the rule of Nuclear Energy, Portland, Oregon, U.S.A. 4-5/12/69.
- (2) RADIATIONS STANDARS AND PUBLIC HEALTH - Merrill Eisenbud.- Nuclear Safety, Vol. 12 N° 1, Enero/Febrero 1971.
- (3) IMPLICATION OF RISING CARBON DIOXIDE CONTENT OF THE ATMOSPHERE - Conference Proceedings, New York 1963 (The Conservation Foundation).
- (4) Revista "LA NACION".
- (5) DECLARATION ON THE HUMAN ENVIRONMENT - The United Nations Conference on the Human Environment, Stockholm, 5-16/6/72.
- (6) LA GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA Y EL AMBIENTE - James H. Wright - Westinghouse Electric Corporation, Pittsburg, Pennsylvania.
- (7) RECOMMENDATION OF THE INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION (ICRP), Publicación N° 9, 1965.
- (8) RADIATION AND PUBLIC HEALTH - C.A. Sagan, M.D., Palo Alto Medical Clinic, Palo Alto, California.
- (9) RADIATION HAZARDS TO THE POPULATION - Journal of British Nuclear Energy Society - Vol. 12, N° 3, Julio 1973.
- (10) IONIZING RADIATION AND HEALTH - B. Lindell and P. Lowry Dobsen, World Health Organization.
- (11) REPORT OF THE UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATIONS - Naciones Unidas.
- (12) PLANT ENVIRONS MONITORING EXPERIENCE - J.M. Smith, 11th. Annual Seminar for Electric Executives, Pebble Beach, California, Oct./Nov. 1971.
- (13) EVALUATION OF HUMAN RADIATION EXPOSURE - F. Foster, I.L. Ophel, A. Preston.

- (14) I.C.R.P. - Publicación N° 8.
- (15) ON THE SWEDISH POLICY WITH REGARD TO THE LIMITATION OF RADIOACTIVE DISCHARGES FROM NUCLEAR POWER STATIONS: AN INTERPRETATION OF CURRENT INTERNATIONAL RECOMMENDATION.- Arne Hedgrand and B. Lindell., National Institute of Radiation Protection, Stockholm, Sweden, June 1970.
- (16) DOSIS GENETICAMENTE SIGNIFICATIVA DEBIDA AL RADIODIAGNOSTICO MEDICO - A.E. Placer, CNEA.
- (17) PROTECTION OF THE PUBLIC FROM RADIOACTIVITY PRODUCED BY NUCLEAR POWER REACTORS - Tomas H. Pigford, Berkeley , California, IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol.NS-19 N° 1, Feb. 1972.
- LA ENERGIA NUCLEAR Y EL MEDIO AMBIENTE - Glenn T. Seaborg, Berkeley, USA.