

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 2	AÑO 1974

06. 74. 12

CNEA/PR. 3/141

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

ESTIMACIONES RELATIVAS AL MEDIO AMBIENTE

Preparado a pedido del Secretario del Grupo de Expertos que se reunió en Viena del 18 al 22 de Junio de 1973 para preparar un Manual sobre selección de sistemas de gestión de desechos para países donde no se reelaboren combustibles nucleares.

Ing. Abel J. González
Comité de Licenciamiento y Normas

Buenos Aires - Junio 1974

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

· · ·
· · ·

ESTIMACIONES RELATIVAS AL MEDIO AMBIENTE

Preparado a pedido del Secretario del Grupo de Expertos que se reunió en Viena del 18 al 22 de Junio de 1973 para preparar un Manual sobre selección de sistemas de gestión de desechos para países donde no se reelaboren combustibles nucleares.

Ing. Abel J. González
Comité de Licenciamiento y Normas

Buenos Aires - Junio 1974

CAPITULO 2

ESTIMACIONES RELATIVAS AL MEDIO AMBIENTE

I - RELACIONES GENERALES ENTRE LA GESTION DE RESIDUOS RADIATIVOS Y LAS ESTIMACIONES RELATIVAS AL MEDIO AMBIENTE.

En todo programa de gestión de residuos radiactivos la protección del ambiente tiene aspectos propios que merecen ser comentados ya que influyen sobre la decisión primaria del programa, es decir: contener o eliminar al ambiente. Las estimaciones relativas al medio ambiente donde se efectuaría la eliminación permitirán realizar la evaluación técnico-económica correspondiente para tomar la decisión.

En circunstancias de tomar esta determinación primaria es conveniente considerar que, cuando la decisión es contener, el problema tecnológico más importante es hacer que el sistema de contención sobrepase en vida útil a la radioactividad eliminada, de manera que se obtenga una sustancial reducción de la actividad por decaimiento. En estos casos el volumen de los residuos adquiere gran importancia práctica y mediante métodos de tratamiento adecuados se puede reducir el volumen (o sea concentrar la actividad o contener) de manera conveniente. El análisis técnico-económico de esta solución debe tener en cuenta los dos aspectos: el tratamiento y la contención posterior.

Es razonable considerar a la contención como una eliminación a largo plazo, es decir una evacuación al ambiente en tiempos tan largos que el decaimiento de la actividad sea el principal parámetro que garantice la seguridad de la operación.

En algunas circunstancias puede utilizarse un proceso intermedio entre la contención y la eliminación denominado de semicontención o contención temporaria. En este proceso 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 gestión es la eliminación de residuos en suelos.

En consecuencia, para realizar las estimaciones relativas al medio ambiente, asociadas con la gestión de los residuos radioactivos será razonable considerar que, independientemente de la decisión primaria tomada, siempre se producirá la eliminación de los residuos al ambiente en tiempos que pueden ser enormemente largos como en las contenciones casi permanentes, largos como en las contenciones temporarias que se emplean en la eliminación en suelos o cortos como en las evacuaciones comunes en la atmósfera o en cursos de agua.

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 medio ambiente debido a que son niveles que corresponden a riesgos estocásticos muy bajos de efectos sobre los individuos y menores aún sobre las especies a las que se pretende proteger como tales y no individualmente. (1) No obstante, debe mencionarse que en algunos pocos casos en los cuales pueden encontrarse altas concentraciones de material radiactivo (en especial de radionucleídos emisores de radiación alfa de período largo) los efectos sobre algunas especies pueden llegar a tener importancia práctica local.

Como la protección del hombre es lo fundamental son aplicables los conceptos básicos de protección radiológica y que para el caso de eliminación de residuos radiactivos pueden expresarse como:

a. La eliminación de residuos radiactivos al ambiente debe ser justificable, es decir que el material evacuado debe pro-

venir de una operación de la cual se han obtenido beneficios ciertos y que además, las características de la operación justifican la eliminación.

b. Las dosis recibidas por el público como causa de la evacuación deben ser " tan bajas como sea practicable " (¹), es decir que la descarga al ambiente se debe limitar hasta un valor en el cual una posterior disminución, implicaría un costo social mayor que el beneficio asociado con la correspondiente disminución del riesgo (análisis diferencial de costo-disminución de riesgo).

c. La "dosis comprometida" debida a un año de evacuación no debe superar los "límites de dosis" para miembros individuales del público recomendados por la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) (2) (²). Estos límites deben ser aplicados al promedio del grupo crítico de población, es decir de un grupo de individuos seleccionados de la población de manera tal que es representativo del individuo más expuesto de la población y es tan homogéneo como sea practicable respecto a las dosis de radiación (4). La definición de "dosis comprometida" utilizada aquí es más restrictiva que la empleada por el Comité Científico de las Naciones Unidas sobre los efectos de las Radiaciones Atómicas (5) dado que se aplica al grupo crítico de población; es decir que es la dosis integrada a infinito recibida por un individuo medio del grupo crítico.

Es muy difícil dar reglas ciertas para indicar cuando una evacuación proviene de una operación justificable en el sentido que de la misma se han obtenido beneficios razonables para la sociedad. La interpretación del hecho puede ser muy subjetiva

(¹) "...as low as readily achievable taking into account social and economical considerations", párrafo 52, ref(2).

(²) Estas recomendaciones fueron adoptadas por el Organismo Internacional de Energía Atómica (3).

y la deberá considerar la autoridad correspondiente caso por caso para cada tipo de evacuación.

La evaluación de la condición de "tan bajo como sea practicable" parece siempre posible de efectuar si bien la misma puede variar para distintas condiciones. El costo tecnológico para disminuir la descarga es un valor relativamente fácil de obtener y puede variar de país en país teniendo en cuenta los diferentes costos de los componentes de los sistemas de gestión.

La mejora tecnológica involucrará una disminución de riesgo que puede ser valorada a partir de la disminución provocada en la dosis comprometida "colectiva" a la población, es decir la dosis comprometida total producida por la fuente sobre el mundo entero (expresada en rem-hombre).

En muchos casos hay dificultades para la evaluación de esta dosis comprometida colectiva total debido a lo compleja que resulta la integración sobre el conjunto de la población. Sin embargo, dada la incertidumbre de los parámetros involucrados puede a veces justificarse efectuar la integración hasta una distancia dentro de la cual la integral representa a la dosis total dentro de un factor 2 ó 3.

La valoración de la dosis colectiva que se ha evitado depende a su vez del costo que asigna la sociedad a los riesgos potenciales. Pueden encontrarse referencias de distintas estimaciones del costo del rem-hombre. (6),(7).

II - CAPACIDAD RADIOLOGICA DEL AMBIENTE.

Se denomina "capacidad radiológica" de un dado medio ambiente a la actividad descargada por año de 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.

Para evaluar la capacidad radiológica es preciso determinar la relación entre la actividad evacuada y las dosis comprometidas resultantes en el hombre. Esta relación depende de un gran conjunto de parámetros que dependen de la porción del medio que se ha utilizado para la eliminación y de la cadena de transferencia hasta el hombre.

Los materiales eliminados pueden irradiar al hombre a través de numerosos y complejos caminos que ya han sido analizados por el ICRP en sus recomendaciones (4). Resulta poco práctico efectuar un estudio comprehensivo y detallado de todos los caminos de exposición indicados. En efecto, la experiencia señala que ciertos radionucleidos y ciertos caminos de exposición son mucho más importantes que otros y en consecuencia son los utilizados en la evaluación de la capacidad radiológica del ambiente. (Son los denominados radionucleidos y caminos "críticos").

En toda descarga de material radiactivo al ambiente se debe tener necesariamente en cuenta los procesos que influyen sobre el destino de los materiales liberados. Algunos de estos procesos tienden a disminuir los riesgos potenciales por simple dilución o por remoción de la radiactividad de los medios de importancia sanitaria. Otros procesos pueden incrementar los riesgos por concentración de los radionucleidos, generalmente en una cadena alimenticia que puede conducir al hombre.

Si lo que se desea conocer es la dosis comprometida no es necesario evaluar las funciones del tiempo que representan la tasa de dosis y la concentración en los diferentes compartimentos del ambiente, debido a que los valores resultantes de su integración proveen la información necesaria. Si se describe el

movimiento de radionucleidos en el ambiente con un modelo de transferencia no realimentado es suficiente conocer los "coeficientes de transferencia" para predecir el valor de la integral. Estos coeficientes de transferencia pueden definirse como el cociente entre las integrales a tiempo infinito de las funciones temporales de la concentración en dos compartimentos dados. En la práctica, la integración a tiempo infinito consiste en extender la integración hasta un límite tal en que la concentración en el compartimento sea prácticamente despreciable.

En el caso de una eliminación a una tasa de evacuación constante, y siempre que las condiciones ambientales que influyen sobre los procesos de transferencia no varíen apreciablemente con el tiempo o los parámetros involucrados puedan ser caracterizados adecuadamente por valores promedios, se puede demostrar que la relación entre las concentraciones del equilibrio es igual al coeficiente anteriormente mencionado. Esta es la situación corriente en los casos de evacuaciones rutinarias donde es posible asumir una relación constante entre las cuotas de descarga y la concentración de los radionucleidos en el ambiente luego de alcanzado el equilibrio. Las dosis anuales recibidas en este caso, son iguales a las dosis comprometidas debidas a un año de evacuación.

La estimación de la dosis comprometida producida por descargas rutinarias, se puede realizar, en principio, por medio del modelo independiente del tiempo mencionado anteriormente, usualmente denominado " modelo de equilibrio " o " modelo de los factores de concentración " debido a que algunos coeficientes de transferencia son llamados generalmente factores de concentración. Muy raramente puede ser necesario utilizar un modelo de análisis de sistemas siempre que los únicos objetivos de la estimación sean radiosanitarios.

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 radionucleídeos en el lecho del curso de agua y en las partículas en suspensión (que pueden depositarse por procesos fluido-dinámicos). La descripción cuantitativa de estos procesos es compleja y depende fuertemente de la composición de los sedimentos y de otros parámetros (8).

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 radionucleídeos 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.

Es decir que en los casos de irradiación externa para que no se superen los límites de dosis se deberá verificar que:

$$R_{\lambda} F \sum_i E_i F_{d,i} t_i \leq \text{límite de dosis} \quad (I)$$

donde:

- R_{λ} = Actividad eliminada en un año. (del radionucleído λ)
- F = Coeficiente de transferencia que relaciona la descarga con la integral de concentración en el medio básico.
- E_i = Factor que relaciona el medio básico (aire o agua) con el elemento i al cual está expuesto el público.
- $F_{d,i}$ = Parámetro dosimétrico que convierte el nivel de actividad en el elemento i en tasa de dosis para una dada geometría.
- t_i = Fracción del año durante la cual está expuesto el público al elemento i .

La obtención de valores apropiados para algunos de los factores E_i y $F_{d,i}$ es complicada, especialmente cuando se consideran movimientos del material (sedimentación, deposición, etc.).

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 radiactivos. 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.

En consecuencia, la condición segura desde el punto de vista de la irradiación debida a la contaminación interna puede expresarse como

$$R_{\lambda} F \sum_j I_j Q_j \leq \text{límite de incorporación}_{\lambda} \quad (II)$$

donde:

R_{λ} y F tienen el significado anterior.

I_j es el coeficiente de transferencia que relaciona la concentración en un alimento j con la concentración en el medio básico, también denominado factor de concentración.

Q_j es el consumo anual de ese alimento por los integrantes del grupo crítico.

Sumando las ecuaciones (I) y (II) puede encontrarse la condición que debe cumplir la actividad eliminada al ambiente de un dado radionucleído para que no se superen los límites recomendados. Esta condición resulta ser la siguiente:

$$R_{\ell} \leq \left[\frac{F \sum_i E_i F_{di} t_i}{\text{límite de dosis}} + F \frac{\sum_j I_j Q_j}{\text{límite de incorporación}} \right]^{-1} \quad (\text{III})$$

Conociendo este valor para los radionucleídos significativos que forman parte de la descarga, y la composición isotópica de la misma, puede derivarse el valor de la capacidad radiológica del ambiente.

Si f_{ℓ} es la fracción del radionucleído ℓ que forma parte de la descarga y R_{ℓ} el valor resultante de emplear la ecuación (III) para el mismo radionucleído, parecería razonable suponer que la capacidad radiológica del ambiente debe cumplir la siguiente relación:

$$\text{Capacidad radiológica} \leq \left[\sum_{\ell} \frac{f_{\ell}}{R_{\ell}} \right]^{-1} \quad (\text{IV})$$

Sin embargo, en la mayoría de los casos, el cumplimiento de la condición expresada en la ecuación (IV) representa una sobreestimación dosimétrica debido a que supone que los radionucleidos involucrados irradian al mismo órgano.

Una cuestión importante es hasta donde deben extenderse las correspondientes sumatorias. Esta cuestión no puede ser discutida en términos generales y el análisis de las condiciones específicas en una dada evacuación propuesta permitirá definir el "camino crítico". Sin embargo parece razonable asumir que los miembros de la sumatoria que contribuyen con valores menores que 1/10 de los límites no deben tenerse en cuenta.

III - RELACIONES ENTRE LA ESTIMACION DE LA CAPACIDAD RADIOLOGICA DEL MEDIO AMBIENTE Y LA ELABORACION DE REGLAS PARA LA DESCARGA DE LOS RESIDUOS RADIOACTIVOS.

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 (9).

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 monitoraje 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 descripto en la sección I.

Determinada la capacidad radiológica estipulada deberán ser fijados por la misma autoridad los límites de descarga para cada una de las instalaciones ubicadas en el medio ambiente considerado. Se debe tener en cuenta que la sumatoria de los límites de descarga fijados para las instalaciones de un dado medio ambiente debe ser equivalente a la sumatoria de los valores de descarga justificables que cumplan con el criterio de ser "tan bajos como sea practicable", es decir que esa sumatoria debe ser sustancialmente menor a la capacidad radiológica estipulada de ese medio ambiente.

Por lo dicho, es obvio que los límites de descarga son actividades anuales y que no tienen sentido radiosanitario los límites fijados de otra forma; por ejemplo en unidades de concentración de actividad para los residuos líquidos y gaseosos, o de tasa de exposición para los sólidos.

IV - NECESIDAD DE LA VIGILANCIA OPERACIONAL SOBRE EL MEDIO AMBIENTE Y PROGRAMACION DE LA MISMA.

Del monitoreaje del medio ambiente involucrado en la evacuación de residuos radiactivos, se obtendrá en general la información necesaria para estimar la dosis comprometida para el grupo crítico debida a un año de descarga a través del examen rutinario de la exposición vía el camino crítico.

Por ello en la mayoría de los casos la medición de actividad global para las sustancias o materiales que sólo están remotamente asociados a los que se interesa vigilar no aporta información de interés radiosanitario.

La aplicación del principio básico mencionado más arriba implica casi siempre una sustancial economía operativa en el sistema de vigilancia. Sin embargo, será razonable apartarse del mismo cuando el monitoreaje tenga fines científicos, de realimentación de los datos o simplemente por motivos de relaciones públicas.

Las características temporales del monitoraje serán, determinadas teniendo en cuenta que el período en el que ha sido fijado el límite de dosis es anual y considerando las probables velocidades de cambio de las condiciones del medio ambiente. A este respecto es conveniente seguir las recomendaciones de muestreo dadas por el ICRP (4).

En lo que respecta a la exposición debida a la contaminación interna y con referencia a sus aspectos dietéticos, el monitoraje conviene ser limitado a la vigilancia de los alimentos de la cadena crítica.

Algunas veces puede resultar conveniente efectuar el monitoraje de vías distintas de la crítica siempre y cuando los valores que se obtengan guarden una relación directa con algún componente de la cadena y la sensibilidad de la medición sea apreciablemente superior. Esta modalidad permite además verificar que no se ha despreciado una vía que puede resultar crítica. Un ejemplo de este monitoraje es el efectuado sobre los "indicadores biológicos". Estos indicadores habrán sido identificados durante el estudio preoperacional y se habrán determinado los parámetros que lo relacionan con algún eslabón de la cadena. En estos casos es conveniente monitorear a los denominados "monitores de nivel actual" es decir a aquellos indicadores que siguen rápidamente las variaciones en la concentración de material radiactivo en el medio que habitan y a los "monitores integradores", cuya contaminación depende de la "historia" de la contaminación del medio.

En muchos casos las actividades involucradas en la evacuación son suficientemente bajas como para hacer innecesaria la vigilancia operacional recomendada y será suficiente el monitoraje de los materiales descargados al ambiente de manera de verificar que no se superen los límites de descarga.

V - REVISION DE LOS VALORES EVALUADOS PARA EL MEDIO AMBIENTE
A PARTIR DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LA VIGILANCIA DEL
MISMO.

Durante el primer período de operación la vigilancia no solo debe proveer datos para verificar el cumplimiento de los límites sino que a veces resulta conveniente que de la misma se obtenga información sobre los parámetros utilizados en la evaluación durante los estudios preoperacionales de manera que, convenientemente realimentados puedan mejorar a las medidas operativas.

Es decir que los resultados obtenidos en el monitoraje ambiental pueden servir, además de su fin específico, como parámetro de realimentación del sistema de gestión de residuos.

Los datos de monitoraje permitirán la revisión periódica de los parámetros involucrados en la evaluación de la capacidad radiológica del medio ambiente y en consecuencia de los límites de descarga prefijados.

La revisión permanente de los parámetros antedichos tendrá como objetivo principal asegurar que no han variado las condiciones básicas previstas en la evaluación, es decir:

- que las condiciones físico-radioquímicas de las descargas se mantienen dentro de los valores previstos.
- que los datos del medio ambiente que permiten calcular los coeficientes para la dispersión en el medio primario no han variado sustancialmente.
- que se mantiene la vía crítica de exposición considerada.
- que dentro de esa vía los coeficientes de transferencia conservan los valores previstos.

Por otra parte, esta revisión conjuntamente con las encuestas. sobre el uso del medio ambiente por la población permitirán asegurar que el grupo crítico de población mantiene sus características originales.

REFERENCIAS

- (1) NUCLEAR ENERGY AGENCY, Disposal of Radiactive Waste, Paris (1972) pág. 227.
- (2) COMISION INTERNACIONAL DE PROTECCION RADIOLOGICA, Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP, Publication 9, Pergamon Press, (1965).
- (3) ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGIA ATOMICA, Normas Básicas de Seguridad en Materia de Protección Radiológica, Colección Seguridad N° 9, OIEA, Viena (1968).
- (4) COMISION INTERNACIONAL DE PROTECCION RADIOLOGICA, Principles of Environmental Monitoring Related to the Handling of Radioactive Materials, ICRP, Publication 7, Pergamon Press, (1965).
- (5) NACIONES UNIDAS, a report of The United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly, Volume I (Levels), Annex A, Introd. (2), (Official Records of the General Assembly, Twenty-seventh Session, Supplement N° 25 (A/3725), New York (1972).
- (6) JANNET, H.; NECHALI, D. y LACOURLY, G; Analyse des couts et des avantages et rapport entre le cout et l'efficacite des systemes de controle; Commissariat a l'Energie Atomique, Departement de Protection (no-publicado), (1972).
- (7) HEDGRAN, A. y LINDELL, B.; On the swedish policy with regard to the limitation of radioactive discharges from nuclear power stations, an interpretation of current international recommendations (preliminary review), National Institute of Radiation Protection, Stockholm (June 1970).
- (8) ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGIA ATOMICA, Evacuación de desechos radiactivos en ríos, lagos y estuarios, Colección Seguridad N° 36, OIEA, Viena (1972).
- (9) SLANSKY, C.H.; Principles for limiting the introduction of radioactive waste into the sea, Revista de Energía Atómica, Volúmen 9, N° 4, pág. 854, Viena, (1971).