



## CONSIDERACIONES SOBRE PROCESO DE GESTIÓN Y EVALUACIÓN DE RIESGO DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

**Maria Carolina Rivoir Vivacqua**

Facultad de Ingeniería. Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental. Departamento de Ingeniería Ambiental.

**Dirección<sup>(1)</sup>:**

Calle: J. Herrera y Reissig 565

Ciudad: Montevideo

Uruguay

CP: 11300

Tel: 598 (2) 711 3386

Fax: 598 (2) 711 5277

e-mail: mcrivoir@gmail.com

### RESUMEN

El ser humano y el ambiente tienen una relación simbiótica; de manera que el impacto ejercido sobre uno en última instancia afecta al otro. En respuesta a la influencia ejercida por el ser humano sobre el ambiente en función del aumento de la población y del avance tecnológico ha aumentado el estrés ambiental.

Con la expectativa de minimizar o reducir la degradación ambiental, individuos y organizaciones han dado la responsabilidad a los tomadores de decisión y a los ejecutores, de reducir los impactos humanos adversos sin afectar los desarrollos económicos, sociales y políticos de sus países.

La gestión de problemas ambientales es compleja e involucra muchos y diversos grupos de intereses que frecuentemente están en conflicto. Los esfuerzos para reconocer, evaluar, y mitigar problemas ambientales han sido largamente guiados por técnicas elaboradas en países desarrollados. La metodología de gestión y evaluación de riesgo es la más moderna y ha sido elaborada para integrar grupos de intereses como la opinión de la población, análisis técnicos y grupos de inversores.

El proyecto de investigación, que se presenta en este artículo, tiene como meta el relevamiento, análisis y planteo de la posibilidad de clasificar de las metodologías de gestión de riesgo de instituciones mundialmente reconocidas. En el transcurso del proyecto se verificó que todas las directrices tenían potencialidades muy particulares, incomparables y muchas veces complementarios. El resultado final apuntó a las características y conceptos que deben ser considerados al desarrollar una metodología de gestión y evaluación de riesgo.

### INTRODUCCIÓN

A principios del año 2006 el Departamento de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería con intenciones de desarrollarse en gestión de riesgo de contaminación ambiental decidió concursar a una de las 3 becas ofrecidas a todo el mundo del programa de investigación de técnicas ambientales ofrecido por Japan International Cooperation Agency (JICA) y el National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST).

A mediados de julio la docente del Departamento de Ingeniería Ambiental, MSc. Ing. Maria Carolina Rivoir Vivacqua, obtuvo la beca a uno de los institutos de AIST, el Institute of Geo-resources and Environment, localizado en la ciudad de Tsukuba, Japón, para realizar dicha investigación en gestión de riesgo de contaminación. El Departamento de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería, reconociendo que las principales instituciones referentes en el tema de gestión y evaluación de riesgo de contaminación son: AIST, NAS, US EPA, EEA y la European Chemicals Bureau; y teniendo en cuenta que el Institute of Geo-resources and Environment es parte del AIST que pertenece al selecto grupo de referentes en riesgo de contaminación ambiental, decide enviar la docente a realizar la investigación con AIST.



## OBJETIVOS Y METAS

Los objetivos de la investigación fueron

- Hacer un relevamiento de las metodologías de gestión de riesgo de instituciones mundialmente reconocidas
- Analizar los datos obtenidos
- Planteo de la posibilidad de clasificar las metodologías según su eficiencia ambiental

## METODOLOGÍA

El presente estudio se fundamenta en el relevamiento de investigaciones y directrices publicadas en vehículos de comunicación consagradas en el medio académico científico. En la persecución de los objetivos planteados la metodología de investigación utilizada fue dividida en las siguientes etapas:

- Investigación en periódicos internacionales de publicaciones sobre metodologías de evaluación y gestión de riesgo. En esta etapa se logró identificar autores e instituciones que en la actualidad están en la vanguardia del tema.
- Investigación de directrices e investigaciones de instituciones internacionales consagradas en el medio académico científico vanguardistas en metodología de gestión y evaluación de riesgo ambiental. En esta etapa se hizo el relevamiento de datos disponibles en las instituciones: AIST, US EPA, EEA, FAO, OECD, WHO, UNEP, European Chemicals Bureau, entre otras instituciones.
- Búsqueda y recopilación de directrices e investigaciones de instituciones que presentan en detalles sus criterios, conceptos, aplicaciones y contengan historia en este campo. En esta etapa se seleccionaron las directrices e investigaciones de las siguientes instituciones: AIST, US EPA, EEA, NAS, European Chemicals Bureau.
- Análisis de las metodologías relevadas de manera a identificar líneas específicas que permitan comparación entre directrices.
- Clasificación de las metodologías según su eficiencia ambiental.

## RESULTADOS

Básicamente, existen tres grandes líneas de investigación de evaluación y gestión de riesgo: salud humana (ERSH), ecológica (ERE), y ambiental (ERA). Cada línea tiene como objetivo final un sistema distinto y por lo tanto utiliza diferentes metodologías y modelos.

Uno de los primeros modelos creados que utilizó la metodología de riesgo y que la literatura científica destaca, es el que fue elaborado en los EEUU por la National Academy of Sciences (NAS). Este tenía como foco el riesgo de contaminación química de una determinada sustancia a la salud humana (ERSH) aunque excluía de sus consideraciones cualquier aspecto social para no hacer demasiado complejo el modelo. Muchas instituciones internacionales desarrollaron sus procedimientos y metodologías basadas en el modelo de exposición NAS, pero incorporaron varios complementos.

Fundamentada en el método NAS surge en paralelo la línea de investigación de evaluación y gestión de riesgo ecológico que tiene como foco el riesgo que la presencia de una sustancia provoca en el ambiente, sobre la vida de los organismos y la diversidad de los ecosistemas. La tendencia del ERE es enfocar al riesgo de químicos y organismos genéticamente modificados, aunque en algunos casos consideran algunas contaminaciones con parámetros físicos como temperatura, riesgo proveniente de sistemas industriales de intercambio térmico. Muchas organizaciones en el mundo están involucradas en la elaboración y perfeccionamiento de métodos basados en ERE.

Dentro del precepto conceptual de que el ser humano y los ecosistemas forman una relación simbiótica nació el ERA. La evolución de técnicas de evaluación y gestión de riesgos a la salud humana y al ecosistema propiciaron el surgimiento de esta línea de gestión. El método ERA también se fundamenta en el método NAS pero involucra mucho más pasos y abarca la salud humana, ecológica, aspectos socio-económicos, culturales y políticos.

Hasta este momento los modelos y métodos elaborados analizaban y gestionaban el riesgo de un solo contaminante en el ambiente. La agencia de protección ambiental estadounidense, percibiendo esta falla en representar situaciones reales, está desarrollando una nueva metodología llamada de evaluación de riesgo acumulativo (ERAC) que podría ser utilizado para riesgo a la salud humana o ambiental. ERAC es la combinación de riesgos de la exposición de



múltiples agentes o factores de estresantes como ausencia o presencia de sustancias químicas, agentes físicos o biológicos en el ambiente.

Todas las instituciones de investigación hacen énfasis en la gestión de riesgo como el procedimiento que sistematiza satisfactoriamente la secuencia de acciones y responsabilidades que los gestores ambientales necesitan asumir para proteger el ambiente, la sociedad, la economía sin alejarse de la evaluación técnica y política. En otras palabras la gestión de riesgo es la herramienta que permite al gestor ambiental reducir riesgos a niveles “aceptables” a costos “aceptables”. De cualquier manera, las técnicas de análisis formal de alternativas, más comunes para toma de decisión, son costo–beneficio y riesgo–costo–beneficio.

Las metodologías elaboradas tienen directrices similares. Defienden que problemas complejos deben ser reducidos a componentes manejables que podrían ser estudiados individualmente para entonces ser combinados y de esta manera hacer una evaluación general. Se estila utilizar una unidad común para comparar los distintos riesgos y consecuencias así como para la consideración de distintos objetivos que estén en conflicto. Este procedimiento fortalece el método utilizado.

La metodología de evaluación y gestión de riesgo ambiental es una herramienta para los gestores ambientales que permite examinar, medir y gestionar problemas ambientales utilizando datos científicos, aspectos socio–económicos, culturales y políticos en el análisis riesgo–costo–beneficio; por lo tanto permite ser aplicado en cualquier país.

Actualmente en el mundo existen diversas metodologías de evaluación y gestión de riesgo resultado de la investigación de diferentes instituciones internacionales. Se presenta a continuación se presenta las instituciones que se evalúan las metodologías desarrolladas:

- NAS – U.S. National Academy of Sciences, institución estadounidense
- US EPA – United States Environmental Protection Agency, institución estadounidense
- EEA – European Environmental Agency, institución de la comunidad europea
- European Chemicals Bureau, institución de la comunidad europea
- Institute of Geo-resources and Environment AIST, METI, institución japonesa

### NAS – U.S. National Academy of Sciences

El primer modelo desarrollado en el mundo fue elaborado por esta institución. Todos los modelos existentes lo utilizan como base. La figura 1 muestra esquemáticamente los pasos y etapas del modelo.



Fig 1. Método NAS



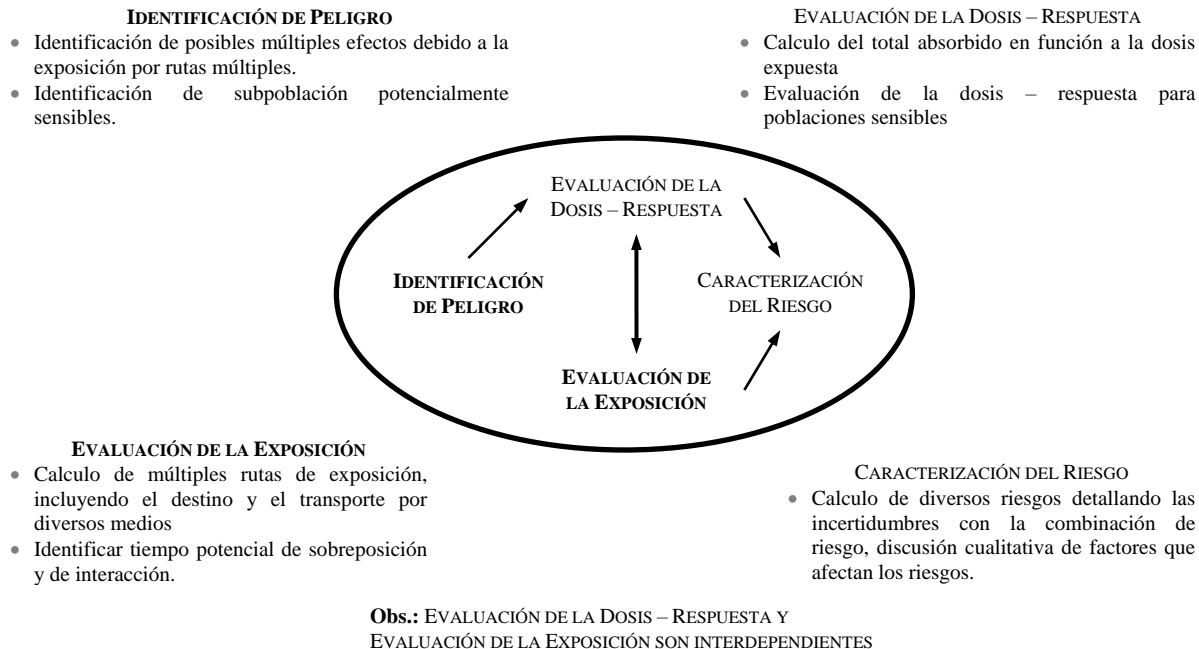
### US EPA – United States Environmental Protection Agency

Las directrices de la US EPA para evaluación de riesgo a la salud humana se basan en el modelo NAS. La EPA publica regularmente sus directrices para promover la aplicación y divulgación. Desde 1986 la EPA ha publicado en secuencia temporal sus directrices: evaluación de exposición, plantas transgénicas, agentes mutagénicos, agentes cancerígenos, agentes que presentan toxicidad reproductiva, agentes que presentan neurotóxico, mezclas químicas, riesgo acumulativo y otros.

Más allá de los análisis que se pueda hacer de cada directriz todas las directrices publicadas presentan incorporadas en su contenido el paradigma de la anterior. La más recientemente publicada es la directriz para riesgo de mezclas químicas aunque hoy está en discusión la directriz sobre riesgo acumulativo. Esta trata de integrar la participación pública, cada vez creciente en temas ambientales, información sobre exposición a múltiples agentes tóxicos en el agua, aire y suelo con el riesgo a la salud.

### Evaluación de Riesgo Acumulativo – ERAC

El interés de la población estadounidense en el medio ambiente sigue creciendo así como la información compartida sobre la exposición a múltiples sustancias químicas en el aire, agua y suelo oriundas de diferentes fuentes y el riesgo a la salud provenientes de esta exposición. La US EPA respondiendo a esa solicitud entendió que la mejor manera de responderla, era desarrollar una forma de evaluación que combinara un conjunto de posibles impactos y condiciones, preparando así reportes sobre varios aspectos de la evaluación de riesgo. Los tópicos técnicos abordados por el ERAC son mostrados en la figura 2.



**Fig 2.** Paradigma modificado del método NAS de manera a abordar los conceptos adoptados en las metodologías desarrolladas por la US EPA hasta la ERAC.

### EEA – European Environmental Agency

Las directrices de la EEA se basan en el método NAS aunque desde su principio ya presentaban mejoras como considerar la influencia de factores socio económicos, políticos y legales. La figura 3 muestra el diagrama de flujo de actividades previstas para la evaluación y gestión ambiental.

La institución responsable por el desarrollo de las directrices para riesgos químicos es la European Chemicals Bureau.

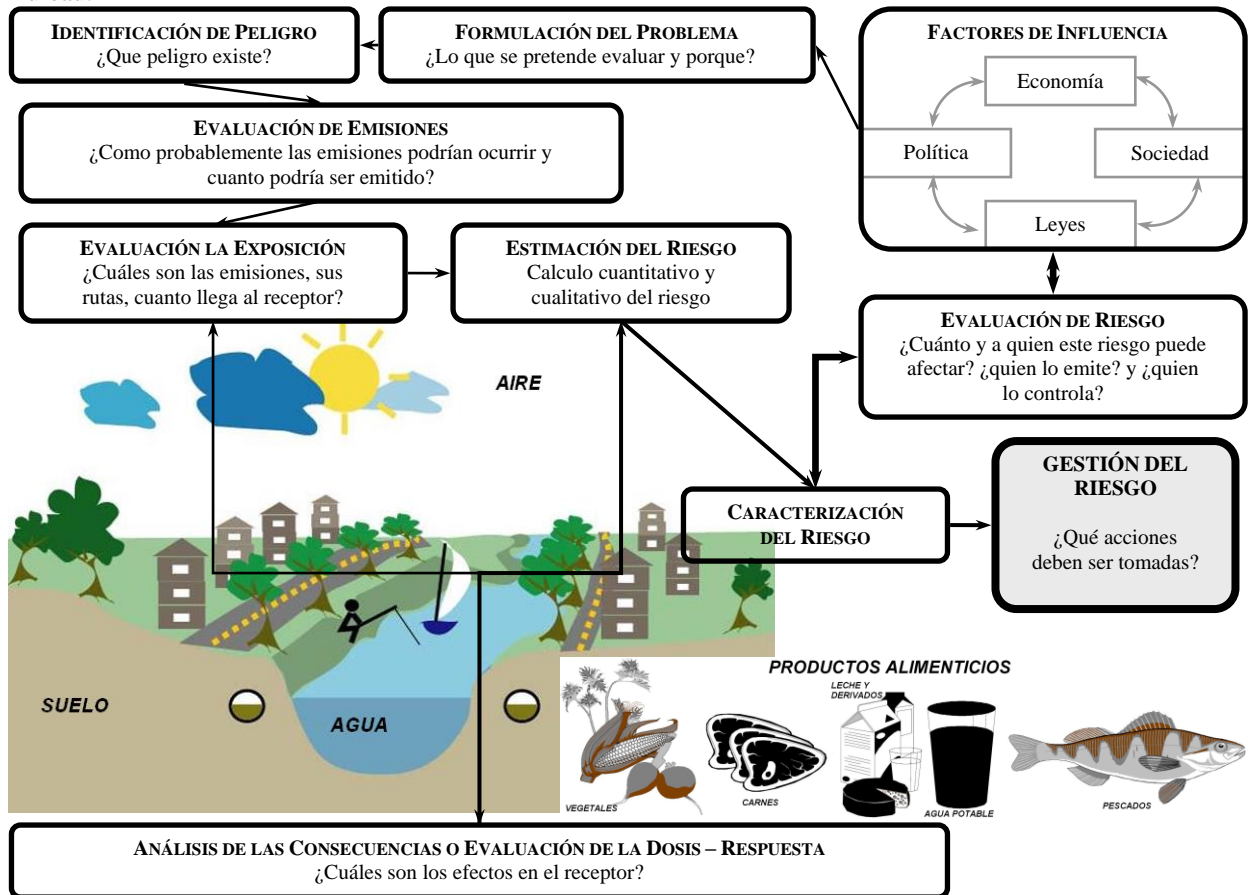


Fig 3. Elementos de la evaluación de riesgo elaborada por la EEA

### European Chemicals Bureau

Esta institución ha desarrollado a lo largo de su existencia diversas directrices siendo esta última responsable por la evaluación del riesgo ambiental de sustancias existentes y nuevas.

Los abordajes usados en el análisis son:

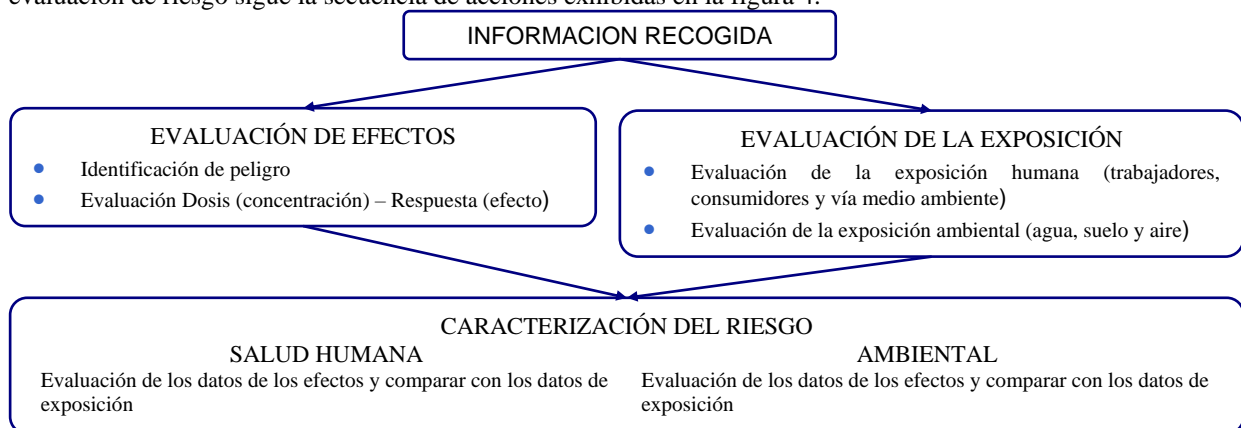
- Estimación cuantitativa de riesgo ambiental de sustancias en cada medio para concentraciones con efectos predecibles o no.
- Procedimiento cualitativo para evaluación de riesgo ambiental de sustancias, para los casos que no sean posibles evaluar cuantitativamente del riesgo ambiental por exposición y/o efectos.
- Evaluación de PBT (persistencia, bioacumulación, y toxicidad) de sustancias consiste en la evaluación de potencial de persistencia en el ambiente, acumulación en la biota y la toxicidad combinada con la evaluación del mayor emisor.



En principio, seres humanos así como ecosistemas de los compartimentos acuáticos, terrestres y aéreos son protegidos. Actualmente, la metodología de evaluación de riesgo ambiental ha sido desarrollada siguiendo compartimentos:

- Para evaluación de riesgo en continente
  - Ecosistema acuático (incluyendo sedimentos)
  - Ecosistema terrestre
  - Predadores últimos
  - Microorganismos en los sistemas de tratamiento de aguas servidas
  - Atmosfera
- Para evaluación de riesgo marino
  - Ecosistema acuático (incluyendo sedimentos)
  - Predadores últimos

La metodología implementada tiene como meta identificar la aceptación o no de riesgos. El procedimiento para la evaluación de riesgo sigue la secuencia de acciones exhibidas en la figura 4.



**Fig 4.** Evaluación de sustancias nuevas, existentes y biocidas

Las ocho categorías que están asociadas la evaluación de los efectos son:

- Toxicidad aguda
- Irritación
- Corrosividad
- Sensibilización
- Toxicidad de dosis repetidas
- Capacidad de producir mutaciones
- Capacidad de producir cáncer
- Toxicidad para la reproducción

La población humana es dividida según la forma de contaminación

- Trabajadores
- Consumidores

Las vías de exposición humana intermedio del medio ambiente esta dividida en:

- Inhalación
- Ingestión
- Contacto cutáneo

El principio del la evaluación de riesgo es comparar la concentración de contaminante a que se esta expuesta la población con la concentración de contaminante que no provoca efectos adversos.

El análisis de la incertidumbre cuantitativa de la evaluación de riesgo es procesado basada en técnicas probabilísticas, tales como simulación por método Monte – Carlo.



**Institute of Geo-resources and Environment AIST, METI**

El “Institute of Geo-resources and Environment” de considera muy importante la evaluación y gestión de la exposición y el riesgo causado por la contaminación del suelo y del agua subterránea. El riesgo fundamentado en la evaluación cuantitativa del análisis del riesgo ambiental para la salud humana y ecológica, así como en el análisis costo-eficiencia y análisis socio-económico conforme es mostrado en la figura 5.

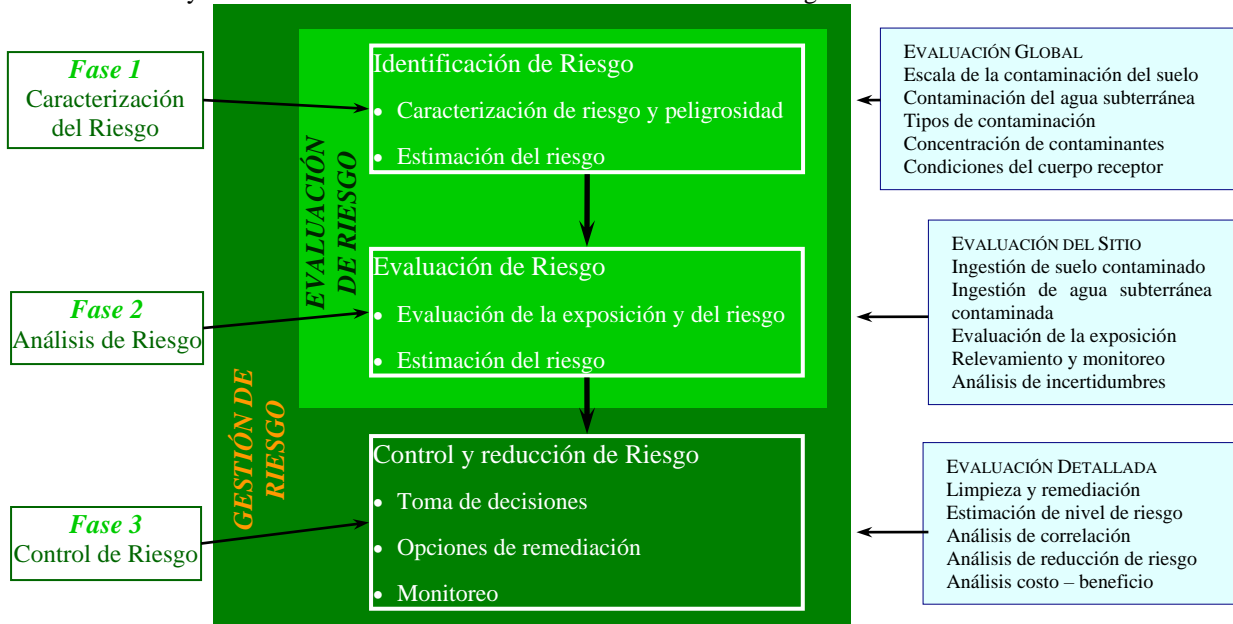


Fig 5. Evaluación de sustancias nuevas, existentes y biocidas

La estrategia de gestión ambiental utilizada por el instituto se presenta en la figura 6.

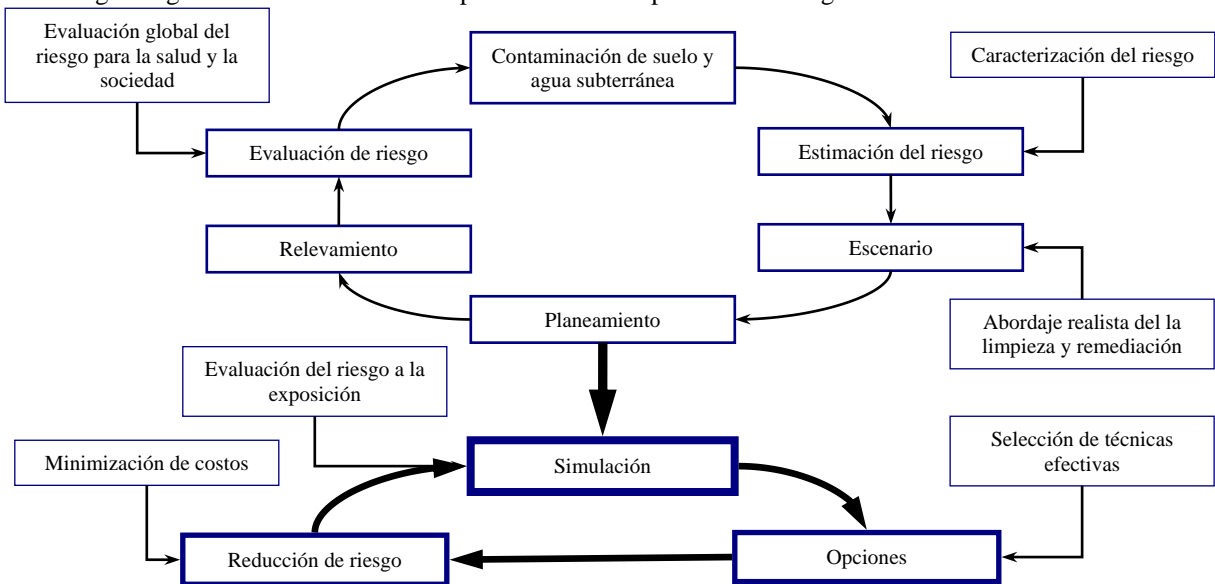


Fig 6. Estrategia de gestión de riesgo ambiental



## **DISCUSIÓN**

Las directrices anteriormente presentadas han sido referencia a varios modelos y programas de simulación y evaluación de riesgo de contaminación ambiental, los mas utilizados y reconocidos de ellos son:

- FOCUS–activities, PRZM, MACRO, TOXSWA y EUSES – Unión Europea
- CSOIL, SEDISOIL, VOLASOIL, RISK Human, USES y HESP – Holanda
- CLEA – UK
- UMS – Alemania
- CalTOX RISK – Finlandia
- CalTOX – California Environment Protection Agency – US EPA.
- SCI-GROW, GENECC, PRZM, TIGEM, and EXAMS – EEUU
- EHIPS – Rusia
- GERAS – Institute of Geo-resources and Environment

En general, los conceptos utilizados en estos modelos y directrices tienen muchos aspectos en común pero tienen diferentes profundidades en sus análisis. Sumado a eso, los abordajes tienen sutiles diferencias y todos tienen importantes características analíticas. Consecuentemente compararlos para poder clasificar o indicar cual es el mejor en eficiencia ambiental no es viable. Tampoco es recomendable utilizar un modelo para estudiar un aspecto específico y otro modelo para un aspecto diferente y sumar los resultados. Por lo tanto la mejor solución es desarrollar un modelo que combine y potencie los aspectos positivos de los modelos.

## **CONCLUSIONES**

Tomar decisiones en proyectos ambientales es extremadamente complejo principalmente si se hace relevando, caracterizando, evaluando los riesgos de contaminación y limpiando sitios contaminados, sin olvidar de considerar la peligrosidad a la salud humana y ambiental, las opiniones de los diversos interesados y los impactos sociales, políticos y económicos.

La evaluación y gestión de riesgo de contaminación ambiental es una herramienta que busca comparar riesgos a la salud humana y ambiental con eficiencia clasificando según sus probabilidades de ocurrencia, costos y beneficios.

En general los conceptos de estas directrices son similares en algunas profundizándose más en un sentido que en otro y muchas veces son complementarios, sumado a eso, tienen abordajes y condiciones ambientales distintas y particulares pero todas tienen importantes características y conceptos que deben ser consideradas. Consecuentemente no es posible compararlas de manera a poder clasificarlas pero sería muy apropiado al desarrollar una metodología para la región, de forma que combine sus conceptos y características de esa manera determinando un modelo más eficiente.





## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1.- AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). Toxicological Profile for Nitrobenzene. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. December. Available at <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp140.html>. 1990.
- 2.- ARTS, B. LEROY, P. Institutional Dynamics in Environmental Governance, NATO, 292p, 2006.
- 3.- BABA, A., HOWARD, K. W.F., GUNDUZ, O. Groundwater and Ecosystems, NATO, 310 p, 2006.
- 4.- BLEY, D. EREMENKO, V. A. Risk Methodologies for Technological Legacies, NATO, 400 p, 2003.
- 5.- BUSCOT, F.; VARMA, A. Microorganisms in Soils: Roles in Genesis and Functions, NATO, 422p, 2005.
- 6.- CARCINOGENIC POTENCY DATABASE PROJECT (CPDP), Summary of Carcinogenic Potency Database by Target Organ (Table 1), Funded by the National Toxicology Program, National Institute of Environmental Health Sciences, U.S. Department of Energy through Lawrence Berkeley National Laboratory, and the University of California at Berkeley, Available at <http://potency.berkeley.edu/pdfs/NCINTPPathology.pdf>, March 23, 2004.
- 7.- CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION (CDC), Biomonitoring Report: Chemical Fact Sheet, Developed by the National Environmental Trust, Available at <http://www.net.org/health/organochlorine.pdf>, February 10, 2003.
- 8.- CHESWORTH W., Encyclopedia of Soil Science, NATO, 900p, 2007.
- 9.- ENVIRONMENTAL HEALTH TRACKING PROJECT TEAM (EHTPT), America's Environmental Health Gap: Why the Country Needs a Nationwide Health Tracking Network. Technical Report. Prepared by EHTPT, Johns Hopkins School of Hygiene and Public Health, Department of Health Policy and Management. Sponsored by the Pew Environmental Health Commission. September. Available at [http://www.pewtrusts.com/pdf/hhs\\_enviro\\_health\\_gap\\_technical.pdf](http://www.pewtrusts.com/pdf/hhs_enviro_health_gap_technical.pdf), 2000.
- 10.- EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY (EEA), Management of Contaminated sites in Western Europe. Copenhagen, 2000.
- 11.- EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY (EEA), Assessment Of Information Related To Waste And Material Flows, Copenhagen, 2003.
- 12.- EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY (EEA), Management of Contaminated sites in Western Europe, Copenhagen, 2000.
- 13.- EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY (EEA), Participatory integrated assessment methods, Copenhagen, 2001.
- 14.- EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY (EEA), Participatory integrated assessment methods, Copenhagen, 2001.
- 15.- EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY (EEA), Assessment Of Information Related To Waste And Material Flows, Copenhagen, 2003.
- 16.- FLÜELER T., Decision Making for Complex Socio-Technical Systems Robustness from Lessons Learned in Long-Term Radioactive Waste Governance, NATO, 357 p, 2006.
- 17.- L. S. GOLD, N. B. MANLEY, T. H. SLONE, J. M. WARD. Compendium of chemical carcinogens by target organ: Results of chronic bioassays in rats, mice, hamsters, dogs, and monkeys. Toxicol, Pathol, Available at <http://potency.berkeley.edu/text/ToxicolPathol.pdf>. 2001.
- 18.- INSTITUT DE RESEARCH ROBERT-SAUVÉ EN SANTÉ ET EN SÉCURITÉ DU TRAVAIL (IRRSST), Mixtures of Substances in Workplaces: A Utility Program for Evaluating the Toxic Risk, Available at [http://www.irsst.qc.ca/en/outil\\_100024.html](http://www.irsst.qc.ca/en/outil_100024.html). 2003.
- 19.- INTERNATIONAL PROGRAMME ON CHEMICAL SAFETY (IPCS), Environmental Health Criteria for Chlorine and Hydrogen Chloride, Available at <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc21.htm#SubSectionNumber:1.2.1>. 1982.
- 20.- KERSEBAUM K. C., HECKER J.-M., MIRSCHEL W., WEGEHENKEL M., Modelling water and nutrient dynamics in soil-crop systems, 2006, NATO, 300 p.
- 21.- Krecek J., Haigh M., Environmental Role of Wetlands in Headwaters, NATO, 345p, 2006.
- 22.- Landner L., Reuther R., Metals in Society and in the Environment, NATO, 407p, 2004.
- 23.- Linkov I., Ramadan A. B., Comparative Risk Assessment and Environmental Decision Making, NATO, 452p, 2004.
- 24.- MERKEL, B. J., PLANER-FRIEDRICH, B. Groundwater Geochemistry, NATO, 200 p, 2005.



- 
- 25.- MOREL J.-L., ECHEVARRIA G., GONCHAROVA N., Phytoremediation of Metal-Contaminated Soils, NATO, 360 p, 2006.
  - 26.- NARANJO E., HELLWEGER F., WILSON L.H., ANID P., Mapping risk from mining activities: A case study of Oruro, Bolivia. Proceedings of the Twentieth Annual ESRI User Conference, June 26-30, San Diego, CA. Available at <http://gis.esri.com/library/userconf/proc00/professional/papers/PAP480/p480.htm>. 2000.
  - 27.- NEIGER R. D., OSWEILER G. D., Effect of subacute low level dietary sodium arsenite on dogs, Fundam. Appl. Toxicol. 13:439-451 (cited in ATSDR, 2000a), 1989.
  - 28.- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC), Risk Assessment in the Federal Government: Managing the Process, Washington, DC, NAS Press, 1983.
  - 29.- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC), Biological Markers in Reproductive Toxicity, Washington, DC, NAS Press, 1989.
  - 30.- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC), Biologic Markers in Immunotoxicology, Subcommittee on Toxicology. Washington, DC, NAS Press, 1992.
  - 31.- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA), Considerations for Developing Alternative Health Risk Assessment Approaches for Addressing Multiple Chemicals, Exposures and Effects (External Review Draft), Cincinnati, 2006.
  - 32.- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA), Guidelines for Carcinogen Risk Assessment, U.S. Environmental Protection Agency, Risk Assessment Forum, Washington, DC, EPA/630/P-03/001B, 2005a.
  - 33.- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA), Supplemental Guidance for Assessing Susceptibility from Early-Life Exposure to Carcinogens, U.S. Environmental Protection Agency, Risk Assessment Forum, Washington, DC, EPA/630/R-03/003F, 2005b.