



## ORIGINAL ARTICLE /ARTÍCULO ORIGINAL

### COMPUTERIZED GECOTOX METHODOLOGY FOR THE PREDICTION OF ECOTOXICOLOGICAL RISK FROM EXPOSURE TO CONTAMINATION EFFECTS IN ENVIRONMENTAL EFFLUENTS AND AQUATIC ECOSYSTEMS

### METODOLOGÍA INFORMATIZADA GECOTOX PARA LA PREDICCIÓN DE RIESGO ECOTOXICOLÓGICO POR EXPOSICIÓN A EFECTOS CONTAMINANTES EN EFLUENTES AMBIENTALES Y ECOSISTEMAS ACUÁTICOS

George Argota-Pérez<sup>1</sup> & José Iannacone<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Ecotoxicología. Grupo de Estudios Preclínicos. Centro de Toxicología y Biomedicina (TOXIMED). Universidad de Ciencias Médicas. Santiago de Cuba, Cuba.

<sup>2</sup>Laboratorio de Ecofisiología Animal. Facultad de Ciencias Naturales y Matemática. Universidad Nacional Federico Villarreal (UNFV).

<sup>3</sup>Laboratorio de Cordados. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Ricardo Palma (URP). Lima, Perú.  
E-mail: george.argota@gmail.com/joseiannacone@gmail.com

The Biologist (Lima), 12(2), jul-dec: 193-205.

## ABSTRACT

The methodology of risk evaluation now represents a scientific management tool to prevent damages to the environment and to public health. The objective of the present work was to develop a computerized methodology called GECOTOX for the prediction of ecotoxicological risk from exposure to contamination effects in environmental effluents and in aquatic ecosystems. To do this, the protocol was structured for 2 types of analyses: one based on the residual analysis of the pollutant load and the other referring to the environmental effect on the receiving water body. For the residual analysis, two types of menus were considered, consisting of the toxicological effect and the type of environmental treatment. Regarding the environmental effects there were considered four types of menus which referred to the contamination source, physico-chemical safety parameters, toxicity of the environmental effect and analysis of bioindicators. Each of the menus considered several variables which were coded with Arabic numerals. All variables were operationalized on real data and not simulated, which performs the analysis individually and then, the risk is analyzed through menus under interaction effects and then classified as low, medium, or high. It was concluded that the proposed program GECOTOX, introducing first-level variables or key regulatory characters, allows one to evaluate the ecotoxicological risk prediction generated by effluents as well as possible environmental pollution effects in aquatic ecosystems.

**Keywords:** aquatic ecosystems, ecotoxicology, effluents, environmental effects, effluents, methodology, risk.

## RESUMEN

---

La metodología de la evaluación de riesgo, representa en la actualidad una herramienta científica de gestión para la prevención de daños ambientales y a la salud pública. El objetivo del presente trabajo fue elaborar una metodología informatizada denominada GECOTOX para la predicción de riesgo ecotoxicológico por exposición a efectos contaminantes en efluentes ambientales y ecosistemas acuáticos. Para ello, el protocolo estuvo estructurado por dos tipos de análisis: uno referido al análisis residual de la carga contaminante antes de tributarse hacia un cuerpo de agua receptor y otro referido al efecto ambiental sobre el cuerpo de agua receptor. Para el análisis residual, se consideraron dos tipos de menús, los cuales consistieron en el efecto toxicológico y tipo de tratamiento ambiental. En cuanto al efecto ambiental fueron considerados cuatro tipos de menús los cuales se refirieron a la fuente contaminante, seguridad de parámetros físico-químicos, toxicidad del efecto ambiental y análisis de indicadores biológicos. Cada uno de los menús consideró diversas variables, las cuales se codificaron arábigamente. Todas las variables son operacionalizadas sobre datos reales y no simulados, las cuales realizan los análisis de forma individual y luego, el riesgo es analizado por los menús bajo efectos de interacción, pudiendo ser clasificado el mismo como bajo, medio o alto. Se concluyó, que la propuesta metodológica programada GECOTOX, al presentar variables de primer nivel o principales de carácter regulatorio, permite evaluar la predicción de riesgo ecotoxicológico generadas por los efluentes, así como posibles efectos contaminantes ambientales en ecosistemas acuáticos.

---

**Palabras clave:** ecosistemas acuáticos, ecotoxicología, efectos ambientales, efluentes, metodología, riesgo.

## INTRODUCCIÓN

---

Conforme a la definición de Paustenbach, "riesgo es la probabilidad de que ocurra un efecto adverso a nivel individual o poblacional, por la exposición a una concentración o dosis específica de un agente peligroso. Desde luego, esto abarca dos dimensiones: a) la posibilidad de que haya un resultado negativo; y b) la incertidumbre sobre la aparición, duración y magnitud del resultado adverso. Por lo que riesgo también se puede definir como: situación o acción en donde son posibles dos o más resultados; se desconocen las posibilidades de aparición de un resultado en particular y, al menos una de las posibilidades es indeseable (Albert 1997, Silveira & Oliveira-Filho 2013).

Por su parte, la EPA (2001) define que en el campo de la salud y del medio ambiente, el

riesgo se identifica como la probabilidad de que un individuo o una población presenten una mayor incidencia de efectos adversos por exposición a un peligro. La Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos (NAS 1983), mencionó que la identificación del peligro, es el proceso de determinar si un compuesto químico está vinculado con ciertos efectos a la salud como pueden ser el desarrollo de cáncer o defectos en el desarrollo.

La ACS (1998), reflejó que históricamente riesgos menores a  $10^{-6}$  se han considerado como no preocupantes. Esta propia entidad informa que el proceso de análisis de riesgos involucra las siguientes etapas: a) evaluación del riesgo a la salud o al medio ambiente en términos cuantitativos, b) análisis comparativo de los riesgos, c) manejo de los riesgos y, d) comunicación de los riesgos.

Hennekens *et al.* (1987), señalaron en estudios epidemiológicos referidos a razones de enfermedad con implicaciones a la salud pública que la información puede organizarse en una matriz de 2 x 2 como la siguiente:

	con enfermedad	sin enfermedad
expuesto	a	b
no expuesto	c	d

Al observar poblaciones durante un periodo específico de tiempo y monitoreando su exposición e incidencia de enfermedades, los epidemiólogos pueden registrar los riesgos y sus factores de riesgo (Schwartz 2002, Danaei *et al.* 2005). Dos expresiones utilizadas con frecuencia con fines informativos para describir estos riesgos son el riesgo relativo y el riesgo atribuible:

$$\text{Riesgo relativo} = a / (a+b) : c / (c+d)$$

El riesgo relativo describe la proporción del riesgo de enfermedad en la población expuesta entre la proporción de la población no expuesta. Un valor de riesgo relativo mayor a 1, indica un riesgo superior en la población expuesta comparada con la no expuesta, siendo contrario cuando existe un riesgo relativo inferior a 1.

$$\text{Riesgo atribuible} = a / a+b - c / c+d$$

El riesgo atribuible señala la diferencia entre la probabilidad de desarrollar la enfermedad con y sin exposición. Un valor de cero, indica que no existe riesgo adicional por la exposición, mientras que un riesgo atribuible superior a cero, indicará entonces, un riesgo adicional de desarrollar enfermedades atribuidas a cierta exposición.

CIS (2014) indica que el riesgo tiene dos significados distintos, uno en el contexto de peligro y otro de probabilidad o cambio de sufrir una consecuencia adversa. En general, la

RFF/ACS (1998) expresa que la evaluación de riesgos a la salud se clasifica en evaluación de riesgo de cáncer y riesgo de no cáncer. El cáncer se trata como una respuesta estocástica, es decir, al incrementar la dosis no aumenta necesariamente la severidad de la respuesta, pero sí la probabilidad de ocurrencia. Por otro lado, las evaluaciones de riesgo de no cáncer se tratan como determinísticas, donde la dosis al incrementarse, es presentada como una respuesta de mayor severidad.

En el caso de una evaluación de riesgo ambiental, la EPA (1998), divide a la misma en tres lineamientos que comprende las siguientes etapas: a) definición del problema, b) análisis que comprende la caracterización de la exposición y de los efectos ecológicos y; c) la caracterización del riesgo (Lee-Steere 2009, ECT 2014).

Anteriormente, según Morgan & Henrion (1990) las evaluaciones de riesgo proporcionaban un valor simple como una estimación conservadora del riesgo, mientras que hoy se acepta por lo general que en la caracterización del riesgo se requiere proporcionar un mayor entendimiento de los métodos de estimación y de la incertidumbre involucrada en la estimación.

Carpenter (1995) señala que la evaluación de riesgos ambientales (ERA) sigue las reglas de la teoría de la probabilidad mediante una expresión de todos los posibles valores de cada parámetro analizado. MPPGD (2004) indica que la ERA es un proceso que evalúa la probabilidad y consecuencia de un impacto adverso que ocurre como resultado de la exposición a uno o más estresores. Der Oost *et al.* (2003) argumentan que deberían analizarse los biomarcadores (proteínas de estrés, metalotioneínas, parámetros hematológicos, parámetros inmunológicos, parámetros genotóxicos, parámetros endocrinos, etc.) y marcadores de bioacumulación en peces (xenobióticos: contaminantes orgánicos

persistentes) y su empleo en ERA (procedimiento por el cual probable o real un efecto adverso de un contaminante y otras actividades antropogénicas en el ecosistema y sus componentes son estimados con un grado de certidumbre usando metodología científica). Monforts & Verschoor (2003) evaluaron los riesgos ambientales de los productos médicos veterinarios. DECHEMA/VCI (2011) realizaron una evaluación de riesgos ambientales de nanomateriales.

En cuanto a la incertidumbre en la evaluación de riesgos puede originarse por distintas causas como son la falta de información, diferencias en el nivel de la evidencia, simplificaciones o suposiciones realizadas para hacer factible el análisis, siendo importante distinguir entre incertidumbre y variabilidad, debido a que ambas pueden ocasionar incertidumbres en los resultados de la evaluación de riesgo (Frey 1992, Darbra *et al.* 2008). Darbra *et al.* (2008) indican que la incertidumbre en la evaluación de riesgos puede tener dos orígenes: aleatorización e incompletitud, existiendo dos formas principales -la teoría de la probabilidad y -la lógica difusa. La incertidumbre es generada sobre el conocimiento incompleto del valor verdadero de un parámetro y se origina en la necesidad de establecer inferencias para pequeñas muestras sobre los procesos que tienen un cierto grado de aleatoriedad (Evans 2002).

Según Morgan & Henion (1990), la visión subjetiva de la probabilidad es el grado de confiabilidad que una persona tiene de que ocurrirá un evento tomando en cuenta, toda la información disponible y conocida por la persona. La probabilidad no sólo depende del evento en sí, sino del nivel de información disponible acerca del mismo. Rao *et al.* (2012) expresan que las incertidumbres involucradas con la evaluación de riesgo son inherentes a la propia metodología y con frecuencia pueden complicar las decisiones. Sin embargo,

muchas de estas incertidumbres pueden reducirse mediante la investigación. Así, los tomadores de decisiones se enfrentan con el dilema de actuar de inmediato, basándose en los niveles presentes de información incierta o de esperar para obtener mayores evidencias y tomar así mejores decisiones en el futuro.

La evaluación de riesgos no necesariamente requiere la aplicación de técnicas sofisticadas o la recolección excesiva de datos. Se pueden obtener resultados prácticos y razonables utilizando información mínima disponible sobre la contaminación y sobre la población expuesta a ella (WB 1998, Lee-Steere 2009).

Es importante destacar que, el pasado siglo XX y lo que transcurre en este siglo XXI, está siendo cada vez más acuciante la contaminación ambiental como una de las situaciones ambientales globales (Samantray *et al.* 2009). En tal sentido, si bien es cierto que los gobiernos están adoptando medidas con carácter normativo, así como determinadas políticas para minimizar los riesgos ambientales y a la salud pública, puede mencionarse que todavía faltan esfuerzos relacionados con la gestión científica para la búsqueda de mecanismos reguladores más eficientes, pues si bien es cierto que la evaluación de riesgo es una herramienta científica de vital aplicación (Vanrolleghem *et al.* 2001), aun se necesita la incorporación de variables en forma más precisa e integral conjuntamente con acciones simultáneas para poder considerar la estimación de efectos e impactos por exposición a cargas contaminantes con la mayor precisión y exactitud posible.

El objetivo del presente trabajo fue elaborar un protocolo programado denominado GECOTOX para la predicción de riesgo ecotoxicológico por exposición a efectos contaminantes en efluentes ambientales en ecosistemas acuáticos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### **Descripción de la metodología programada GECOTOX**

Está estructurada por dos tipos de análisis: uno referido al análisis residual de la carga contaminante antes de tributarse hacia un cuerpo de agua receptor (puede ser considerado un ecosistema); y otro referido al efecto ambiental sobre el cuerpo de agua receptor (puede ser considerado un ecosistema).

#### Descripción del análisis residual

Para el análisis residual, el software es dependiente de dos condiciones: efecto toxicológico y tipo de tratamiento ambiental.

En cuanto al efecto toxicológico, el mismo considera tres (3) menús: 1) la caracterización de la entidad quien dependerá del tipo de fuente (puntual o dispersa) como el tipo de emisión (continua de larga duración, continua de corta duración, intermitente de alta frecuencia, intermitente de baja frecuencia), 2) seguridad de parámetros físico-químicos y microbiológicos (cantidad de parámetros medidos como el número de ellos encontrados según la norma utilizada) y 3) toxicidad del residual, la cual dependerá del tipo a evaluar (sustancia, compuesto o mezcla), el ensayo (microcosmo o batería) y el número de pruebas que presentan toxicidades, siendo las mismas impares (3 o 5) a determinar.

Para el caso del tipo de tratamiento ambiental, fue considerado si el mismo es primario, secundario, terciario, cuaternario y si el aplicado es inadecuado. Para ello, de igual forma se tiene en cuenta si los tratamientos son realizados de forma real o potencial.

#### Descripción del efecto ambiental

Para el efecto ambiental, el software es dependiente de cuatro condiciones: fuente contaminante, seguridad de parámetros físico-químicos, toxicidad del efecto ambiental y;

análisis de indicadores biológicos.

En cuanto a la fuente contaminante, la misma considera una zona de análisis (aproximación, mezcla y exposición), así como el número de fuentes identificadas y los contaminantes de interés (quienes se expresan por matrices ambientales). De igual manera, es considerada la seguridad de parámetros físico-químicos y microbiológicos (cantidad de parámetros medidos como el número de ellos encontrados según la norma utilizada), así como la toxicidad del efecto ambiental sobre la base del tipo a evaluar (sustancia, compuesto o mezcla), el ensayo (microcosmo o batería) y el número de pruebas que presentan toxicidades, siendo las mismas impares (3 o 5) a determinar. Finalmente, para el análisis de indicadores biológicos se consideró el tipo de muestra, la cual es evaluada atendiendo a la magnitud de daño, siguiendo la clasificación reportada por Argota & Iannacone (2014).

Todas las variables son evaluadas en forma individual así como por interacción, las cuales están codificadas arábigamente y expresan una evaluación de riesgo cualitativo de forma matricial. Todos los datos introducidos en el programa son reales, por lo que se permite mediante variables de extrapolación, estimar las posibles implicaciones de efectos o impactos sobre los sistemas ambientales receptores.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La toxicología y la ecotoxicología vienen experimentando un creciente desarrollo con el fin de proporcionar la información y el conocimiento básico para la identificación y valoración de la peligrosidad de compuestos (Bro-Rasmussen 1997, Silveira & Oliveira-Filho 2013). Durante la década de los años 70 y como resultado de un nuevo paradigma, los países industrializados adoptan un esquema de trabajo que permite incorporar esta

información recopilada en un proceso de regulación conocido como evaluación de riesgo (Crane *et al.* 2009).

En la figura 1, puede observarse el análisis residual codificado por el efecto toxicológico y sus tres menús: (1) caracterización de la entidad, (2) seguridad de parámetros físico – químicos y microbiológicos, y (3) toxicidad del residual.

En la caracterización de la entidad, puede mencionarse lo siguiente:

- A. Fuente puntual: Caracterizada por un número reducido de puntos de emisión relacionada con el tipo de residual en una zona geográfica pequeña.
- B. Fuente difusa: Caracterizada por muchos puntos de emisión relacionada

con el tipo de residual y que pueden estar en una zona geográfica localizada.

- C. Emisión continua de larga duración: Caracterizada por un vertimiento residual mayor a las cuatro (4) h.
- D. Emisión continua de corta duración: Caracterizada por un vertimiento residual menor a las cuatro (4) h.
- E. Intermitente de alta frecuencia: Caracterizada por un residual que la suma de los vertimientos superan las cuatro (4) h.
- F. Intermitente de baja frecuencia: Caracterizada por un residual que la suma de los vertimientos no superan las cuatro (4) h.

The screenshot displays the GECOTOX 2.1 software interface for residual analysis. The main window is titled 'Análisis Residual' and contains several sections:

- Efecto Toxicológico:**
  - Caracterización de la Entidad:** 'Riesgo Bajo' is selected. Under 'Tipo de Fuente', 'Puntual' is selected. Under 'Tipo de Emisión', 'Continua de larga duración' is selected.
  - Toxicidad del Residual:** 'Riesgo Medio' is selected. Under 'Tipo', 'Mezcla' is selected. Under 'Envío', 'Batería' is selected. The 'Número de Pruebas' is set to 3.
- Seguridad de Parámetros Físico - Químicos y Microbiológicos:** 'Riesgo Alto' is displayed. The 'Número de parámetros a determinar' is set to 2. A table shows the following data:

Parámetros	Norma	Valor Establecido	Valor Medido	Validar
OD	NC: 1999 - Evaluación de las	5.0 mg/L	3.7	<input type="checkbox"/>
pH	NC: 1999 - Evaluación de las	6.5 - 8.5	7.1	<input checked="" type="checkbox"/>
- Tipo de Tratamiento:** 'Riesgo Medio' is selected. Under 'Forma', 'Potencial' is selected.

Buttons for 'Guardar', 'Cancelar', 'Resumen de Riesgo', and 'Informes' are visible at the bottom of the form.

Figura 1. Análisis residual - metodología programada GECOTOX.

En cuanto a la seguridad de parámetros físico – químicos y microbiológicos, este menú considera que para existir seguridad en el riesgo residual, es importante tanto la cantidad de parámetros a medir como el número de parámetros que se encuentren en el rango o valor establecido por la norma utilizada. En el número de parámetros a determinar, existen tres categorías.

I. Categoría: 8 o más parámetros: generalmente es aplicada en aquellos residuales que se evalúan por primera vez o se le da un seguimiento de monitoreo según la toxicidad expresada.

II. Categoría: 5 - 7 parámetros: es usada cuando se ha establecido que solo es necesario evaluar, un número de parámetros que está en este rango. Esto es un criterio de selección que parte de la primera categoría. De igual manera, también es seleccionada la categoría cuando solo se puede determinar un número de parámetros que está en el rango, independientemente de si el residual es evaluado por vez primera o no.

III. Categoría: Menor de 5 parámetros: es seleccionada cuando solo es posible determinar un número de parámetros menor de cinco.

En cuanto al número de parámetros en el valor o rango permisible, está relacionado con el número de parámetros por categoría.

Para el caso de la toxicidad de residual, lo significativo es referido a conocer, cuántas del número impar del tipo de ensayo presentan toxicidad de tipo aguda. Los ensayos considerados son los siguientes:

A. Ensayo microcosmo: son aquellos donde los organismos involucrados durante la evaluación, presentan relaciones eslabonadas tróficas.

B. Ensayo de batería: son aquellos donde los organismos involucrados durante la evaluación, no presentan relaciones eslabonadas tróficas.

Para la evaluación del tipo de tratamiento residual, la consideración de aplicación para primario, secundario, terciario y cuaternario fue referido a su carácter de real, potencial e inadecuado.

A. Real: si el tratamiento aplicado se relaciona con el tipo de residual identificado.

B. Potencial: si solo parte del tratamiento es aplicado con el tipo de residual identificado.

C. Inadecuado: si el tratamiento aplicado no se relaciona con el tipo de residual identificado.

Es importante mencionar que si el tratamiento es potencial, entonces se considera un riesgo mayor, así como si es inadecuado. Asimismo, se puede interpretar que los riesgos de los residuales son mayores desde el tratamiento primario hasta el cuaternario. Esto indica por qué no siempre se trata el residual como se espera, provocando entonces que en múltiples ocasiones el tratamiento en vez de ser real sea potencial o inadecuado.

En la figura 2, puede observarse el efecto ambiental, el cual está codificado por el efecto toxicológico y sus tres menús: caracterización de la entidad, seguridad de parámetros físico – químicos y microbiológicos, así como toxicidad del residual.

En cuanto a la zona, fue descrita como: categoría o área espacial de expresión ambiental no deseada. Para ello se consideró lo siguiente:

Zona de aproximación: categoría o área espacial donde las propiedades físico-químicas y microbiológicas del cuerpo receptor, presentan valores muy elevados

debido a los efectos de poca dilución. Zona de mezcla: categoría o área espacial donde los contaminantes vertidos entran en contacto con otros contaminantes donde ocurren efectos de interacción (sinergismo, adición y potenciación), debido en lo fundamental a los cambios relacionados con las propiedades físico-químicas y microbiológicas del cuerpo receptor.

Zona de exposición: categoría o área espacial donde los contaminantes presentan concentraciones umbrales por encima del valor o fuera del rango permisible de la norma utilizada, denominándose contaminantes de interés (CI). En esta zona los CI presentan propiedades que les permiten acceder por

diferentes vías de exposición entrar en contacto con la naturaleza biológica.

En cuanto a las matrices ambientales son los compartimentos donde se expresa el efecto (s) o impacto (s) de los CI, donde se tiene en cuenta como matrices ambientales de primer orden el agua, suelos, cultivos, sedimentos, frutos y la biota. En el caso de los indicadores naturales, están referidos a los organismos que habitan en condiciones ambientales naturales y donde en ellos ocurren cambios biológicos, producto de su interacción con los CI, bajo determinadas propiedades físico-químicas y microbiológicas del cuerpo receptor (Lumb *et al.* 2006, WHO 2011).

The screenshot displays the GECOTOX 2.1 software interface. The main window is titled 'Efecto Ambiental 1' and shows various input fields and tables. The 'Fuente Contaminante' section includes 'Zona' (set to 'Exposición'), 'Número de fuentes' (1), and 'Distancia' (1000 m). The 'Seguridad de Parámetros Físico - Químicos y Microbiológicos' section shows 'Número de parámetros a determinar' (1). The 'Toxicidad del efecto ambiental' section includes 'Tipo' (set to 'Compuesto') and 'Número de Pruebas' (2). The 'Análisis de indicadores biológicos' section shows 'Tipo y número de muestras' (2) and a table with columns 'Muestra' and 'Magnitud de Daño'. The 'Resumen de Riesgo' section shows 'Riesgo Medio' and 'Riesgo Alto' indicators. The bottom status bar shows the date and time: 09:23 p.m. 15/06/2014.

Figura 2. Efecto ambiental - metodología programada GECOTOX.



Para la magnitud del valor del daño, fue seguida la clasificación reportada por Argota & Iannacone (2014):

- A. magnitud trivial: cambios o manifestaciones ajenas que no son invalidantes para la vida de los organismos.
- B. magnitud leve: daños atribuibles a lesiones, trastornos o comportamientos anómalos no sistémicos.
- C. magnitud moderada: daños atribuibles a lesiones, trastornos o comportamientos anómalos que conducen a una o determinadas pérdidas donde comienza a comprometerse la vida de los organismos.
- D. magnitud severa: daños atribuibles a lesiones, trastornos o comportamientos anómalos que son ya invalidantes y donde comienza acortarse la vida de los organismos.
- E. magnitud extrema: daños atribuibles a lesiones, trastornos o comportamientos anómalos que son incompatibles con la vida y donde existe una muerte esperada de los organismos.

Los estudios para la selección del lugar de vertido de residuos han cobrado especial interés debido al alto costo inherente al control de nutrientes en los vertidos de aguas residuales para evitar la eutrofización. Estos estudios suelen recurrir a modelos informáticos para simular las condiciones de calidad del agua en un curso de agua, especialmente con respecto a nutrientes como los compuestos nitrogenados y fosforados que afectan a la dinámica del oxígeno disuelto. Los modelos tradicionales de calidad del agua están representados por el sistema QUAL2E de la Agencia de Protección de Medio Ambiente de Estados Unidos (USEPA), propuesto por Brown & Barnwell (1987), y sus diversas modificaciones para el monitoreo de la calidad del agua en base a una sola expresión

en una escala de 100 puntos (Lumb *et al.* 2006, Samantray *et al.* 2009, Bharti & Katyal 2011, Chowdhury *et al.* 2012, Kankal *et al.* 2012).

En tal sentido, la metodología propuesta no es modelada por simulaciones de variables, por el contrario, las variables medidas son evaluadas a partir de datos reales los cuales son analizados de forma individual y finalmente, matricial por interacción.

Parkhurst (1995) propone realizar una valoración de los riesgos ecológicos acuáticos como ayuda para establecer los límites de control de la contaminación del agua, especialmente para proteger la vida acuática. Estos métodos de valoración de riesgos pueden utilizarse para estimar los efectos ecológicos de las concentraciones de productos químicos para una amplia variedad de condiciones de contaminación de las aguas superficiales como: a) contaminación por fuentes localizadas, b) contaminación por fuentes dispersas, c) sedimentos contaminantes en los cauces de los cursos de agua, d) acumulación de residuos peligrosos en masas de agua y; e) análisis de los criterios existentes para el control de la contaminación del agua. En el caso de la metodología propuesta, la misma presenta un enfoque de variables y mediciones con ciertas similitudes a lo que se requiere como enfoque de evaluación y gestión de los riesgos ecológicos (Crane *et al.* 2009, Silveira & Oliveira-Filho 2013).

Conforme a la objetividad por varias referencias (NDECI 2006, AENOR 2008, Carretero 2008) que la evaluaciones de riesgo permiten dar soporte con base científica a la toma de decisiones por los responsables de la gestión de sitios con peligros o contaminantes que afecten la salud de las personas y el medio ambiente, la metodología propuesta permite generar gestión en la toma de decisiones debido a que cuenta con indicadores objetivamente verificables. Asimismo, la metodología programada propuesta está

acorde con las tendencias de variables a considerar, pues considera similitudes con la comunicación de indicadores referidos por EPA (1997), EC (2003), CODELCO (2006) y la ISO (2009).

Según la UE (1996), es importante mencionar que las evaluaciones de riesgo ambientales, pueden ser tanto de carácter prospectivo como retrospectivo, lo que permite una evaluación de efectos sobre el medio debidos a la presencia de agentes o actividades actuales o del pasado. En tal sentido, la metodología programada consideró poder realizar análisis tanto por descargas como por posibles efectos en cualquier matriz receptora.

Finalmente, la información recopilada y contrastada durante los últimos años en los distintos países, ha permitido el desarrollo de un número considerable de modelos informatizados por ejemplo: HAZCHEN, Cemos, SAMS, GREAT-ER (Matthies *et al.* 1997, Showanek *et al.* 2001, Vanrolleghem *et al.* 2001). En el caso de sustancias de uso industrial los modelos utilizados para estimar las concentraciones ambientales previstas (PECs) en el medio y su incorporación a la cadena trófica se reúnen según Jager *et al.* (1994) en el USES (Uniform System for the Evaluation of Substances), la cual constituye la etapa previa al desarrollo de EUSES (European Union System for the Evaluation of Substances), por el que se armoniza la evaluación de riesgo ambiental de sustancias nuevas y existentes en la Unión Europea (Vermeire *et al.* 1997).

Es por ello, que atendiendo a las necesidades y exigencias para la protección de los cuerpos de aguas superficiales, la biodiversidad asociada, así como la salud pública; en este trabajo se concluyó que la propuesta metodológica programada GECOTOX, al presentar variables de primer nivel o principales de carácter regulatorio, permite evaluar la predicción de riesgo ecotoxicológico

generadas por los efluentes, así como posibles efectos contaminantes ambientales en ecosistemas acuáticos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AENOR. 2008. *Norma Española. Análisis y evaluación del riesgo ambiental*. Madrid, España.
- Albert, L.A. 1997. *Evaluación de riesgo. Cap 22. Introducción a la toxicología ambiental*. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. Division de salud y ambiente. OPS/OMS. Metepec. Estado de México. pp 387.
- American Chemical Society (ACS). 1998. *Understanding Risk Analysis. A Short Guide for Health, Safety, and Environmental Policy Making*. Resources for the Future Center for RISK Management. Internet Ed. Washington. 39 p.
- Argota, P.G. & Iannacone, J. 2014. Similitud en la predicción de riesgo ecológico entre el Software Gecotox y biomarcadores en *Gambusia punctata* (Poeciliidae). *The Biologist*, 12: 85-98.
- Barthi, N. & Katyal, D. 2011. Water quality indices used for surface water vulnerability assessment. *International Journal of Environmental Sciences*, 2: 154-173.
- Bro-Rasmussen, F. 1997. The environmental experience: ecosystem protection. *Archives of Toxicology Suppl.*, 19: 155-166.
- Brown, L.C. & Barnwell, T.O. 1987. *Enhanced stream water quality models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS: Documentation and user manual*. Athens, Georgia: USEPA, Environmental Research Lab.
- Carnegie Institution for Science (CIS). 2014. *Environmental risks*. Chapter 1. pp. 1-12. En :

- [http://dge.stanford.edu/SCOPE/SCOPE\\_15/SCOPE\\_15\\_1.1\\_chapter1\\_1-14.pdf](http://dge.stanford.edu/SCOPE/SCOPE_15/SCOPE_15_1.1_chapter1_1-14.pdf) leído el 10 de agosto del 2014.
- Carpenter, R.A. 1995. Risk assessment. *Impact Assessment*, 13: 153-187.
- Carretero, A. 2008. *Análisis y evaluación del riesgo ambiental (Exposición Norma UNE 150008 - 2008)*. Asociación Española de Normalización y Certificación – AENOR, España.
- Chowdhury, R.M.; Muntasir, S.Y. & Hossain, M.M. 2012. Water quality index of water bodies along Faridpur-Barisal road in Bangladesh. *Global Engineers & Technologists Review*, 2: 1-8.
- Corporación Nacional del Cobre de Chile (CODELCO). 2006. *Procedimientos para identificar aspectos ambientales y evaluar el riesgo de sus impactos*. Directriz Corporativa. Santiago. Chile.
- Crane, M.; Boxall, A.B.A. & Barrett, K. 2009. *Veterinary Medicines in the environment*. Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC). Pensacola, Florida. 196 p.
- Danaei, G.; Hoorn, S.V.; Lopez, A.D.; Murray, C.J.L. & Ezzati, M. 2005. Causes of cancer in the world: comparative risk assessment of nine behavioural and environmental risk factors. *Lancet*, 366: 1784-1793.
- Darbra, R.M.; Eljarrat, E. & Barceló, D. 2008. How to measure uncertainties in environmental risk assessment. *Trends in Analytical Chemistry*, 27: 377-385.
- DECHEMA/VCI. 2011. *10 years of research: risk assessment, human and environmental toxicology of nanomaterials. Status paper issued by the DECHEMA /VCI working group "Responsible Productions and use of nanomaterials"*. DECHEMA/VCI. Frankfurt. Germany. pp. 3-54.
- Der Oost, R.V.; Beyer, J. & Vermeulen, N.P.E. 2003. Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: a review. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 13: 57-149.
- Edinburgh Centre for Toxicology (ECT). 2014. *Environmental risk assessment*. UNEP/IPCS Training Module N0 3. Section B. pp.112-173.
- Environmental Agency Protection (EPA). 1997. *Ecological risk assessment guidance for superfund*.
- Environmental Agency Protection (EPA). 1998. *Guidelines for ecological risk assessment*. Office of Research and Development: Washington DC, EPA/630/R-95/002F.
- Environmental Agency Protection (EPA). 2001. *An overview of risk assessment and RCRA*. EPA530-F-00-032: Washington DC.
- European Communities (EC). 2003. *Technical Guidance Document on Risk Assessment*. European Chemicals Bureau. TGD Part II. European Commission Joint Research Centre. EUR 20418 EN/2. 328 p.
- Evans, J.S. 2002. *Introduction to risk analysis (Slides)*. Second course on air quality management (MIT-CAM). 12 al 14 de agosto.
- Frey, H.C. 1992. *Quantitative analysis of uncertainty and variability in environmental policy Making*. AAAS/EPA Environmental Science and Engineering Fellow. Pittsburgh. 68 p.
- Hennekens, C.; Buring, J. & Mayrent, S. 1987. *Epidemiology in medicine*. Little, Brown & Co. Boston.
- International Organization for Standardization (ISO). 2009. *ISO 31000. Risk management - Principles and guidelines*.
- Jager, D.T.; Visser, J.D.; Van de Meent, C.J. 1994. Uniform system for the evaluation of substances. IV. Distribution and intake. *Chemosphere*, 29: 353-369.
- Kankal, N.C.; Indurkar, M.M.; Gudadhe, S.K. & Wate, S.R. 2012. Water quality Index of surface water bodies of Gujarat, India.

- Asian Journal of Experimental Sciences, 26: 39-48.
- Lee-Steere, C. 2009. *Environmental risk assessment guidance manual for industrial chemicals*. Environment Protection and Heritage Council. Australian Environment Agency Pty Ltd. 109 pp.
- Lumb, A.; Halliwell, D. & Sharma, T. 2006. Application of CCME water quality index monitor water quality: A case of the Mackenzie river basin, Canada. *Environmental Monitoring and Assessment*, 113: 411-429.
- Matthies, M.; Koormann, F.; Boeije, G. & Feijtel, T.C. 1997. The identification of thresholds of acceptability and danger: the chemical presence route. *Archives of Toxicology, Suppl.*, 19: 123-135.
- Montforts, M.H.M.M. & Verschoor, A.J. 2003. *Environmental risk assessment for veterinary medicinal products. Part 3. Validation of environmental exposure models*. RIVM report 601450016/2003. Bilthoven. 144 p.
- Morgan, M. & Henrion, M. 1990. *Uncertainty: A guide to dealing with uncertainty in quantitative risk and policy analysis*. Cambridge University Press, NY.
- Management Programme for the Gorgon Development (MPGD). 2004. *Risk assessment process*. Chapter 9. Draft Environmental Impact Statement/Environmental Review and Management Programme for the Gorgon Development. pp. 288-301. En: [https://www.chevronaustralia.com/docs/default-source/default-document-library/chapter\\_9\\_risk\\_assessment\\_process.pdf?sfvrsn=0](https://www.chevronaustralia.com/docs/default-source/default-document-library/chapter_9_risk_assessment_process.pdf?sfvrsn=0) leído el 20 de agosto del 2014.
- National Academy of Sciences (NAS). 1983. *Risk assessment in the federal government: managing the process*. National Academy Press, Washington D.C.
- NDECI. 2006. *Manual básico para la estimación del riesgo*. DINAPRE – Dirección Nacional de Prevención/UUER – Unidad de Estudios y Evaluación de Riesgos. Lima, Perú.
- Parkhurst, B. 1995. *Risk management methods*. Water Environment and Technology. Washington, DC: Water Environment Federation.
- Rao, S.; Chirkov, V.; Dentener, F.; Van Dingenen, R.; Pachauri, S.; Purohit, P.; Amann, M.; Heyes, Ch.; Kinney, P.; Kolp, P.; Klimont, Z.; Riahi, K.; Schoepp, W. 2012. Environmental modeling and methods for estimation of the global health Impacts of air pollution. *Environmental Modeling & Assessment*, 17:613-622.
- Resources for the Future (RFF). American Chemical Society (ACS). 1998. *Understanding risk analysis*. Disponible en : [http://www.rff.org/misc\\_docs/risk\\_book.htm](http://www.rff.org/misc_docs/risk_book.htm) leído el 12 de abril del 2014.
- Samantray, P.; Mishra, B.K.; Panda, C.R. & Rout, S.P. 2009. Assessment of water quality index in Mahanadi and Atharabanki rivers and Taldanda canal in Paradip Area, India. *Journal of Human Ecology*, 26: 153-161.
- Schwartz, J. 2002. The use of epidemiology in environmental risk assessment. *Human and ecological risk assessment*, 8: 1253-1265.
- Showanek, D.; Fox, K.; Holt, M.; Schroeder, F.R.; Koch, V.; Cassani, G.; Matthies, M.; Boeije, G. & Thornton, J. 2001. Beyond risk: an ecological paradigm to prevent global chemical pollution. *International Journal of Occupational and Environmental Health*, 6: 318-330.
- Silveira, S.C.L. & Oliveira-Filho, E.C. 2013. *Princípios de toxicología Ambiental*. Ed. Interciência. Rio de Janeiro. 216 p.
- Unión Europea (UE). 1996. *Directiva 96/61/CE relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación*. 23 p. En: <http://www.prtr->

- es.es/data/images/Directiva%2096-61%20(IPPC)-8AC74FB2F68AFD3F.pdf leído el 10 de agosto del 2014.
- Vanrolleghem, P.; Young, A.; Morris, G.; Gandolfi, C. & Feijtel, T.C. 2001. GREAT-ER: a new tool for management and risk assessment of chemicals in river basins. Contribution to GREAT-ER # 10. Water Science and Technology, 43: 179-185.
- Vermeire, T.G.; Jager, D.T.; Bussian, B.; Devillers, J.; den Haan, K.; Hansen, B.; Lundberg, I.; Niessen, H.; Robertson, S.; Tyle, H. & Van der Zandt, P.T. 1997. European Union System for the Evaluation of substances (EUSES). Principles and structure. Chemosphere, 34: 1823-1836.
- World Health Organization (WHO). 2011. *Guidelines for drinking water-water quality*. 4<sup>th</sup> Ed. Gutenberg. Malta.
- World Bank (WB). 1998. *Comparative risk assessment. Pollution prevention and abatement Handbook*. Toward Cleaner Production. The World Bank Group in collaboration with the United Nations Environment Programme and the United Nations Industrial Development Organization. Washington. 441 pp.

Received August 13, 2014.  
Accepted September 06, 2014.