


EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS PARA LA SALUD HUMANA POR METALES PESADOS EN LAS BAHÍAS DE BUENAVISTA Y SAN JUAN DE LOS REMEDIOS, VILLA CLARA, CUBA

M. Sc. Norma García-García¹, Dr. C Julio Pedraza-Garciga¹, MsC. José F. Montalvo^{III}, Marta Martínez^{III}, 
Dr. C Jorge Leyva^{II}

emonitoreo@vcl.cu, emonitoreo@vcl.cu, juliop@uclv.edu.cu

¹Oficina de Manejo Costero del Este, CESAM, CITMA, Villa Clara, Cuba, ^{II}Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Villa Clara, Cuba, ^{III}Instituto de Oceanología, Ciudad de La Habana, Cuba

● Resumen

En el presente trabajo se realiza una caracterización de los principales focos contaminantes de la bahía San Juan de los Remedios, fundamentalmente en las industrias que vierten sus residuales directamente al mar sin tratamiento alguno y que contienen gran variedad de sustancias tóxicas orgánicas y químicas. Estos residuales, son vertidos en los ríos que desembocan en esta bahía. Se realizó una evaluación del riesgo que constituye para la salud humana la presencia de metales pesados en los cuerpos de agua poniendo en riesgo la vida de las personas que habitan en la ciudad de Caibarién. Este estudio permitirá un mejor conocimiento acerca de los principales contaminantes químicos, sus características y efectos sobre la salud; y aplicar una estrategia para la evaluación del riesgo sobre la salud de dichos contaminantes, adecuada a las condiciones específicas del municipio de Caibarién, constituyendo una herramienta para la toma de decisiones de los organismos gestores y reguladores del medio ambiente de esta localidad.

Palabras clave: contaminantes, ecosistema, riesgo, metales pesados, salud.

● Abstract

In the present work, a pollutants characterization in San Juan de Los Remedios Bay was realized. It were studied the main industries around this bay, its pollutants, its characteristics and its wastes treatment. Almost all industries release its wastes directly to the bay, without an adequate treatment.

As result of the pollutants characterization process was concluded that the wastes contain a great variety of organic and chemical toxic substances that could affect the human health and the bay's ecosystem.

A Health Risk Assessment was realized considering the heavy metals as the most toxic compounds in the bay.

Keywords: pollutants, ecosystem, risk, heavy metals, health.

● Introducción

La evaluación del riesgo por contaminación es un proceso que tiene como objetivo asignar magnitudes y probabilidades a los efectos adversos de la contaminación. Con este puede establecerse

si el grado de afectación presente en una zona genera efectos nocivos. Cuando mayor sea el riesgo de que la contaminación afecte a los seres vivos, mayor será la necesidad de implementar programas de restauración.

En este punto es útil establecer que en cada lugar contaminado se busca la protección tanto de los seres humanos como de los organismos de la biota (plantas y animales).

El propósito de este proceso es identificar los riesgos significativos de forma sistemática priorizando la acción para minimizar estos y proteger a las personas.

En el caso particular de Cuba, la evaluación del riesgo es un tema que ha sido ampliamente tratado, pero en diferentes aplicaciones en el campo de la salud, sobre todo en la predicción de enfermedades y a la posibilidad o no de contraer una enfermedad determinada.

El presente trabajo toma como caso de estudio a la ciudad de Caibarién, teniendo en cuenta que es uno de los municipios de la provincia de Villa Clara con mayores proyecciones de desarrollo turístico en gran escala.

Por otra parte, la presencia de industrias a lo largo de la bahía ha traído aparejado el vertimiento de contaminantes al medio marino, que han afectado este frágil ecosistema con peligro potencial para las personas que viven en la zona costera y que aún no han sido identificados, los que constituyen un riesgo para la salud humana.

El estudio de los contaminantes peligrosos que son vertidos al medio natural, y en especial a los ecosistemas marinos, es tarea de gran importancia en el cuidado y conservación de los mismos. (García, N.; Puentes, O. y J. F., 2007).

Las bahías de Buenavista y San Juan de los Remedios, si bien no constituyen a nivel nacional un ecosistema muy afectado por el nivel de vertimiento de las industrias y de la comunidad, han sido caracterizadas desde el punto de vista medioambiental y estudiadas en profundidad por la importancia que reviste su conservación, y por el impacto que podría provocar una emisión descontrolada de residuales líquidos al mar, y su posible efecto sobre la salud humana y el ecosistema.

El objetivo del trabajo fue efectuar un estudio integral sobre la contaminación en las Bahías de Buenavista y San Juan de Los Remedios, y realizar la evaluación preliminar del riesgo sobre la salud humana de los contaminantes peligrosos que afectan las aguas marinas que bordean la ciudad de Caibarién.

Materiales y métodos

Se realizó una caracterización de los principales focos contaminantes que de forma directa o indirecta llegan a la zona costera del municipio de Caibarién, fundamentalmente los residuales de las industrias que vierten a la bahía sin previo tratamiento, con la participación de diferentes centros de investigación de la provincia y del país.

Para la evaluación de la calidad del agua se utilizaron las normas de calidad de agua: NC-25:1999., NC-22: 1999, NC-27:1999 y la NC-521:2007. Para llevar a cabo la evaluación de los riesgos, fue empleada la metodología desarrollada por la EPA (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA, 1989 y 1992).

Los principales focos de contaminación de las bahías de Buenavista y San Juan de los Remedios, son los siguientes:

1. Empresa Azucarera y Destilería "Heriberto Duquesne" (Remedios)
2. Empresa Tenera "Patricio Lumumba" y "Hermanos Herrada" (Caibarién)
3. Empresa Vinatera del Norte (Caibarién)
4. Empresa Industrial Pesquera (EPICAI) (Caibarién)
5. Empresa Confitera (Caibarién)
6. Hospital General y Ciudad Pesquera (Caibarién)
7. Dirección municipal de acueducto y alcantarillado (Caibarién)
8. Asentamiento poblacional de Jinaguayabo (Caibarién)
9. Asentamiento poblacional de la ciudad (Caibarién)

Elementos que componen la evaluación del riesgo sobre la salud humana según la metodología de la EPA (USEPA, 1989 y 1992)

Primero que todo se define la zona de estudio, que en este caso fue el área costera de las bahías de Buenavista y San Juan de los Remedios, en las zonas pertenecientes al municipio de Caibarién al norte de la plataforma villaclareña.

Posteriormente se define las posibles rutas de exposición.

• **Rutas de exposición**

Como ruta de exposición se tiene en cuenta que la mayoría de las industrias y otros centros del territorio vierten sus residuales en este ecosistema costero, con los consiguientes daños al medio ambiente marino y a la salud de las personas, teniendo como medio responsable del transporte de estos contaminantes al agua.

Como punto de exposición se considera a la zona costera de la ciudad de Caibarién, incluyendo a toda el área de la playa.

Se tuvieron en cuenta dos vías de exposición, la primera a través de la ingestión de especies marinas por la población local, y la otra por contacto dérmico con el agua marina.

Como población receptora se consideró a las personas que vive aledaña a esta zona costera, por sus características y tradiciones en el uso de artes de pesca, y de la zona de playa como una de las vías principales de recreación de la ciudad.

• **Análisis de la contaminación ambiental**

Plan de muestreo

Se realizó un plan de muestreo acorde con los intereses que se perseguía en cada uno de los trabajos realizados, conforme a las normas cubanas e internacionales para estos estudios.

Los datos de campo fueron recogidos tanto por la Estación de Monitoreo de Ecosistemas Costeros de Caibarién (CESAM), como por parte del Instituto de Oceanología de Cuba (IDO), para caracterizar el

sitio contaminado y determinar los diferentes niveles de concentración de metales pesados, elementos de interés para el presente estudio, relevantes a trayectorias de exposición humana (ingestión, contacto dérmico e inhalación).

El diseño del muestreo garantiza que el sitio investigado está adecuadamente representado, y que las concentraciones determinadas de los contaminantes reflejan la situación real que había en estas bahías.

Se investigó, además, lo referente a la contaminación de las principales industrias de Caibarién.

• **Selección de contaminantes críticos**

A partir de los contaminantes identificados, se realizó un análisis acerca de sus características desde el punto de vista toxicológico y sus efectos sobre la salud humana.

Por la importancia que revisten los metales pesados, su peligrosidad, en los estudios de evaluación de riesgos sobre la salud humana, se decidió utilizar para esta evaluación preliminar los contenidos de metales pesados reportados por Martínez Canal (1998) Montalvo *et al.*, (2006), García, *et al.*, (2007), Montalvo *et al.*, (2008). Los metales pesados identificados fueron: Al, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Zn, Pb y Mn.

A continuación se ofrecen algunas características de los mismos desde el punto de vista toxicológico. Solo se exponen las características del cadmio, cromo, manganeso y plomo.

La exposición a algunos metales pesados ha sido asociada a una gran variedad de efectos adversos sobre la salud, incluyendo al cáncer (US EPA, 1989).

Aunque algunos elementos son esenciales para los humanos, ellos pueden ser peligrosos a altos niveles de exposición. Considerando la importancia de su potencial toxicológico, arsénico (As), cadmio (Cd), cromo (Cr), mercurio (Hg) y plomo (Pb) son especialmente tomados en cuenta. Otros elementos, tales como el manganeso (Mn) y el vanadio (V) deben ser tomados en cuenta a altas concentraciones en un área específica.

Cadmio (Cd): El cadmio (Cd) es un elemento encontrado ampliamente en la corteza de la tierra. Los minerales, volcanes y fuegos forestales son las principales fuentes de este metal. Sin embargo, se ha estimado que las emisiones antropogénicas de cadmio exceden a las emisiones naturales por un factor cercano a 10. Se ha encontrado que la combustión del carbón, la madera y el petróleo, la incineración de residuos y la producción de metales son las principales fuentes antropogénicas de cadmio liberado a la atmósfera.

Los lixiviados provenientes de suelos contaminados y de la descarga de efluentes industriales contribuyen a la contaminación de los sistemas acuáticos. La inhalación de cadmio es la principal trayectoria de exposición para su entrada en el cuerpo humano.

La absorción gastrointestinal alcanza hasta un 5 % de la ingestión total de cadmio, mientras la absorción por los pulmones podría alcanzar hasta un 50 % del total. El cadmio se transporta a través de la sangre y es ampliamente distribuido en el cuerpo, acumulándose principalmente en el hígado y los riñones.

La dieta es otra vía importante de exposición al cadmio, principalmente a través de la ingestión de cereales, pescado y mariscos. Uno de los más importantes episodios de envenenamiento de los alimentos es el síndrome de "Itai-Itai". La población que vivía cerca de Jintsu fue envenenada después del consumo de arroz y agua potable con altas concentraciones de cadmio.

La exposición aguda al Cd puede causar la muerte en humanos. La exposición a cantidades muy bajas podría causar irritación gastrointestinal, vómitos y diarreas si el Cd se ingiere, o dolor de cabeza, dolores en el pecho y edema pulmonar, si es inhalado. El Cd ha sido unido a que induce los cánceres de próstata y pulmón en estudios epidemiológicos y de laboratorio. Una dosis oral de referencia de $5 \cdot 10^{-4}$ mg/kg/día ha sido estimada para la ingestión de este elemento.

Este elemento ha sido clasificado como carcinogénico a humanos (Grupo I) por el Internacional Agency for Research on Cancer (IARC, <http://www.iarc.fr/en/websites/index.php>) y probable carcinogénico humano (Group B1) por la US EPA. Un

factor de la pendiente de inhalación de 6.1 (mg/kg/día)⁻¹ se ha estimado sobre la base de cáncer del tracto respiratorio asociado con la exposición ocupacional (US EPA, 1997).

Cromo (Cr): Es un elemento ampliamente presente en todos los medios ambientales. Los flujos de polvos continentales han sido identificados como la principal fuente natural de exposición. Los polvos volcánicos y los flujos de gases son fuentes naturales menores de cromo en la atmósfera. Sin embargo, las fuentes antropogénicas se han hecho muy importantes en las décadas recientes y sus contribuciones han excedido notablemente a las provenientes de fuentes naturales. El Cr es liberado en la atmósfera, principalmente, por fuentes estacionarias antropogénicas, incluyendo gas, petróleo y carbón así como las industrias de los metales.

El Cr podría aparecer en dos formas: trivalente Cr (III), el cual es realmente un nutriente esencial para los humanos, y hexavalente Cr(VI), el cual es altamente tóxico. La inhalación es la principal trayectoria de exposición para el Cr. El Cr total es la principal corriente del humo del cigarro variando entre 0,000 2 - 0,5 µg/cigarro, el humo del tabaco ha sido señalado como otra importante vía de exposición en ambientes cerrados.

El Cr hexavalente ha sido clasificado como carcinogénico a los humanos (Grupo 1) por la IARC, sobre la base de diferentes estudios epidemiológicos mostrando suficiente evidencia de que la exposición al Cr (VI) induce el cáncer de pulmón.

La EPA ha catalogado a la forma hexavalente del Cr como un conocido carcinógeno humano, y como consecuencia, se ha establecido un factor pendiente de inhalación de 42 (mg/kg/día)⁻¹. Una exposición crónica al Cr(VI) podría producir efectos no carcinógenos sobre el hígado, riñones y en el sistema inmune y gastrointestinal. Efectos dañinos sobre la piel (i.e., dermatitis, ulceración) pueden aparecer después de una exposición dérmica a este metal. Un valor de $3 \cdot 10^{-3}$ mg/kg/día ha sido sugerido como dosis de referencia oral, basado sobre la exposición a la cual ningún efecto fue notado en ratas expuestas al Cr en el agua de consumo.

Manganeso (Mn): Es un elemento ubicuo presente en el ambiente. Aparece en el suelo, aire, agua y alimento. Las fuentes antropogénicas del Mn incluyen las plantas de producción de cemento, plantas de energía, incineración de residuos, y la combustión de combustibles fósiles.

En los humanos, el Mn es un elemento esencial para el cuerpo humano para ciertas funciones fisiológicas. La ingestión de alimentos es la principal trayectoria no ocupacional del Mn. El intervalo estimado de Mn en el consumo diario es de 2-5 mg/día para adultos. La exposición ocupacional está basada básicamente en la inhalación de polvos. La inhalación crónica de Mn por los humanos afecta básicamente el sistema nervioso (tiempo de reacción visual muy lento, deficiente firmeza de las manos y daño de las pestañas).

Otro efecto no cancerígeno es el llamado "manganismo", caracterizado por una disfunción extrapiramidal y neurosiquiátrica.

Cuando evaluamos el riesgo del manganeso en el agua de consumo o el suelo, se recomienda una dosis de referencia de 0,024 mg/kg/día.

Plomo (Pb): Debido a las características toxicológicas y de dispersión en el medio ambiente, el plomo ha sido uno de los metales pesados más estudiados desde el punto de vista científico. Se forma naturalmente, pero las principales fuentes de contaminación son antropogénicas. Entre ellas, las emisiones provenientes del tráfico vehicular han sido las más importantes.

Hasta finales del siglo XX, el Pb (como tetraetil plomo) fue utilizado como un aditivo de las gasolinas. Debido a sus efectos dañinos para la salud humana, la EPA prohibió el uso de este tipo de combustible en 1996.

Además del uso de las gasolinas con plomo, otra fuente antropogénica importante de plomo liberado a la atmósfera son las fundiciones de metales no ferrosos y las industrias que tratan con productos conteniendo plomo. El uso incorrecto de baterías ha tenido una importante contribución del plomo al suelo, aunque la concentración contenida en estos materiales ha ido decreciendo por años. Finalmente, este elemento ha

sido ampliamente utilizado en las municiones militares y en equipos médicos y científicos.

Los compuestos elementales y compuestos inorgánicos de plomo están catalogados como posibles agentes carcinógenos en seres humanos (Grupo 2B) por la IARC. A su vez, el plomo orgánico no se clasifica como carcinogénico a los seres humanos (Grupo 3). Los efectos a la salud del plomo son, principalmente, dependientes de las etapas de desarrollo de la exposición y de la magnitud de la dosis interna. La evidencia muestra, que el plomo es multitóxico, causando efectos en el tracto gastrointestinal, sistema cardiovascular, sistema nervioso central y periférico, riñones y el sistema inmunológico. En algunos pacientes, ha sido detectada una encefalopatía después de una exposición aguda al plomo.

Para todos los contaminantes de interés aluminio (Al), cadmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), cobalto (Co), manganeso (Mn), níquel (Ni), plomo (Pb) y zinc (Zn) se buscó en las Tablas de Ingestión Tolerable Diaria (en inglés, Tolerable Daily Intake (TDI), proporcionadas por el Ministerio de Salud de Canadá y las guías de la Agencia Ambiental de Estados Unidos (EPA) para obtener sus datos de toxicidad y efectos sobre la salud humana, considerando los valores para las diferentes categorías poblacionales, y teniendo en cuenta sus efectos carcinogénicos o no carcinogénicos.

• *Estimación de la exposición en el escenario humano*

Análisis dosis-respuesta

A través de diferentes investigaciones, la EPA, 1989, 1992, 1997 ha definido una serie de dosis de referencia (RfD) para diferentes sustancias químicas, que se pueden encontrar en diferentes bases de datos, tales como la IRIS de la Agencia Ambiental de Estados Unidos (US EPA) o de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Estimación de la exposición

• *Método determinístico*

En el caso de los contaminantes críticos considerados en el presente trabajo se determinaron

las concentraciones mínima, máxima y promedio de cada uno de los contaminantes críticos para el medio ambiente seleccionado como se muestra en la tabla 1.

TABLA 1. CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN LAS BAHÍAS DE BUENAVISTA Y SAN JUAN DE LOS REMEDIOS

mg/kg	Al	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
media	1 148,69	1,2	0,7	32,81	3,6	83,82	11,11	3,1	3,68
mediana	1 157,00	1,0	0,5	26,55	3,2	74,51	10,62	1,0	3,28
desv.stand	790,66	0,6	0,7	21,83	1,9	69,86	6,59	4,0	2,24
min	3,00	0,6	0,5	7,30	1,8	6,02	3,90	1,0	0,50
max	3591,40	3,2	3,5	78,62	7,5	268,37	26,03	18,39	8,58

Fuente: Instituto de Oceanología (IDO).

Para el cálculo de la dosis, se consideró el 90 % de los valores máximos de la concentración de los contaminantes en el ambiente marino. Se valoraron las dos posibles vías de exposición: la dérmica y por ingestión de especies marinas contaminadas.

La ecuación general para el cálculo de la dosis de exposición es:

$$\text{Dosis (mg/kg - día)} = \frac{\text{Conc} \times \text{TI}}{\text{PC}} \times \text{FE} \quad (\text{I})$$

Que puede ser reescrita para la ingestión de especies contaminadas como:

$$\text{Dose}_{\text{FoodIngestion}} = \frac{(\text{C}_{\text{food}} \times \text{IR}_{\text{food}} \times \text{AF}_{\text{GIT}} \times \text{D}_{\text{Days}} \times \text{D}_{\text{Years}})}{\text{BW} \times 365 \times \text{LE}} \quad (\text{II})$$

donde:

$\text{Dose}_{\text{FoodIngestion}}$ es la dosis por la ingestión de alimentos contaminados.

C_{food} - Concentración del contaminante en agua, usualmente el 90 % del percentil o del valor máximo, en mg/kg.

IR_{food} - Razón de ingestión de comida, en kg/día.

AF_{GIT} - Factor de absorción para el tracto gastrointestinal. Se sugiere un valor de 1 para evaluaciones preliminares del riesgo.

D_{Days} - Cantidad de días en el año en que el alimento del sitio contaminado es consumido (0-365) en número.

D_{Years} - Cantidad de años de exposición (no utilizado para no carcinógenos) en años.

BW - Peso del receptor en kg.

LE - Esperanza de vida. La cantidad de años que una persona probablemente puede vivir. No utilizado para no carcinógenos.

La dosis por contacto dérmico puede ser calculada por la siguiente expresión, que es una extensión de la fórmula más general de acuerdo a US EPA, 1992.

$$\text{Dose}_{\text{DermalContact}} = \frac{(\text{C}_s \times \text{SA}_H \times \text{SL}_H \times \text{AF}_{\text{Skin}} \times \text{EF} \times \text{D}_{\text{Days}} \times \text{D}_{\text{Weeks}} \times \text{D}_{\text{Years}})}{\text{BW} \times 365 \times \text{LE}} \quad (\text{III})$$

donde:

C_s en mg/kg - Concentración del contaminante en agua marina, usualmente el 90 % del valor máximo.

SA_H en cm^2 - Área superficial del cuerpo (asumiendo que todo el cuerpo está en contacto con el contaminante).

SL_H en kg/cm^2 - evento- Carga de suelo o agua al cuerpo expuesto.

AF_{Skin} adimensional. Factor de absorción para la piel.

EF en eventos/día- Cantidad de exposiciones dérmicas por día.

D_{Days} - Días en una semana con exposición (0-7). BW- Peso medio del receptor en kg.
 D_{Weeks} - Semanas en un año con exposición (0-52).
 D_{Years} - Cantidad de años de exposición (no usado para no carcinógenos). LE- Esperanza de vida, cantidad de años que se puede vivir (no usado para no carcinógenos).

Cálculo de las dosis para todos los contaminantes críticos, considerando personas adultas y efectos no carcinógenos

TABLA 2. DOSIS POR CONTACTO DÉRMICO Y POR INGESTIÓN DE ESPECIES MARINAS (NO CARCINÓGENOS)

Metales pesados	Dose FoodIngestion (mg/kg- d)	Dose DermalContact (mg/kg- d)
Ca	$7,27 \cdot 10^{-4}$	$3,44 \cdot 10^{-6}$
Cr	0,003	$8,93 \cdot 10^{-6}$
Pb	0,004 1	$8,36 \cdot 10^{-7}$
Al	0,8	-----
Co	$8,03 \cdot 10^{-4}$	-----
Cu	0,001 69	$5,7 \cdot 10^{-6}$
Mn	0,06	-----
Ni	0,005 8	$6,9 \cdot 10^{-5}$
Zn	0,001 9	$1,3 \cdot 10^{-6}$

A los metales aluminio, cobalto y manganeso no se le calculan las dosis de exposición por contacto dérmico porque no aparecen reportados valores relativos de absorción dérmica, no constituyendo esta una vía de posibles riesgos a la salud humana.

Cálculo de las dosis para todos los contaminantes críticos, considerando personas adultas y efectos carcinógenos

De forma similar se calculan las dosis por contacto dérmico y por ingestión de especies contaminadas, como se aprecia en la tabla 3.

Se asume una esperanza de vida de 70 años (LE) y 25 años de exposición (DY_{ears}), según US EPA, 1992.

De acuerdo con la International Agency for Research on Cancer (IARC) y la Organización Mundial de la Salud (<http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/crthgr01.php>), dentro del Grupo I: Carcinogénicos en humanos incluye al Cd, Cr (como cromo VI) y al Ni, y dentro del Grupo II B: Posibles carcinógenos en humanos, incluye al cobalto y sus compuestos, así como al plomo, por lo que todo el análisis acerca de la evaluación de riesgos carcinogénicos se centrará en estos metales.

TABLA 3. DOSIS POR CONTACTO DÉRMICO Y POR INGESTIÓN DE ESPECIES MARINAS (CARCINÓGENOS)

Metales pesados	Dose FoodIngestion (mg/kg- d)	Dose DermalContact (mg/kg- d)
Cd	$2,59 \cdot 10^{-4}$	$1,22 \cdot 10^{-6}$
Co	$2,87 \cdot 10^{-4}$	-----
Cr	$1 \cdot 10^{-3}$	$3,19 \cdot 10^{-6}$
Ni	$2 \cdot 10^{-3}$	$2,46 \cdot 10^{-5}$
Pb	$14,74 \cdot 10^{-4}$	$2,98 \cdot 10^{-7}$

En el caso del cobalto no se calcula la dosis de exposición porque no aparece reportado ningún valor relativo de absorción dérmica, no constituyendo (contacto dérmico) una vía de posibles riesgos a la salud humana.

• **EVALUACIÓN DEL RIESGO**

Evaluación del riesgo carcinógeno (método determinístico)

El riesgo se calcula multiplicando las dosis de exposición por las diferentes vías por el factor pendiente de cáncer (SF):

$$RC = D \cdot SF$$

donde D es la exposición estimada y SF el factor pendiente de cáncer; por lo que extendiendo la ecuación anterior para las diferentes vías de exposición quedará:

$$RC = Dose_{FoodIngestion} \times SF_{FoodIngestion} + Dose_{DermalContact} \times SF_{DermalContact}$$

SF_{Oral}, SF_{Inhalation} y SF_{dermal} se estiman, en general, de acuerdo con las tablas que reporta la Agencia Ambiental de USA o el Departamento de Salud de Canadá.

Calculando el riesgo para los diferentes metales con efectos carcinógenos se obtiene para cada caso los resultados que se muestran en la tabla 4.

TABLA 4. RESULTADOS DEL RIESGO CARCINÓGENO (RC)

Metales pesados	RC
Ca	$1,6 \cdot 10^{-3}$
Co	$2,8 \cdot 10^{-3}$
Cr	$4,11 \cdot 10^{-2}$
Ni	$1,11 \cdot 10^{-2}$
Pb	-

Con respecto al plomo la EPA ha indicado que no existe consenso sobre una dosis de referencia o un factor pendiente de cáncer (SF) para este contaminante (Johnson, 2007). Debido a esto, a los efectos de este trabajo, no se puede calcular el cociente de peligro (HQ) y el riesgo de contraer cáncer (RC). Esto no significa que en el manejo y control de este contaminante no se tomen las medidas que están establecidas para este tóxico en el ambiente.

Análisis de los resultados

El límite tolerable del incremento del riesgo de cáncer está entre 1×10^{-6} a 1×10^{-5} (US EPA, 1992). De acuerdo con lo anterior todos los valores del riesgo de cáncer para todos los metales pesados con efectos carcinógenos (tabla 4) sobrepasan estos límites, lo que trae consigo la preocupación ambiental por su control y manejo, si tenemos en cuenta que la probabilidad de desarrollo de cáncer por estas sustancias es alta.

Se debe considerar, además, que se está trabajando con el 90 % de la concentración máxima de los metales pesados en la zona de análisis, o lo que es lo mismo, se trabaja con el límite superior del intervalo de confianza en torno a la media para un nivel de confianza del 90 %, suponiendo que constituye la estimación de la exposición más elevada que se puede esperar que razonablemente aparezca en dicho lugar.

Esto indica que los niveles de concentración de estos contaminantes son altos y que debe seguirse una estrategia para disminuir sus efectos sobre la salud humana y el medio ambiente.

Lo anterior se sustenta cuando se analiza la tabla 1, en la cual se puede apreciar que los rangos de las variables de interés son extremadamente elevados y que existe una gran dispersión con respecto a la media de todos los valores lo que influye en los datos de respuesta obtenidos.

Evaluación preliminar del riesgo no carcinógeno (método determinístico)

Para el cálculo del riesgo no cancerígeno se calcula el cociente de peligro, considerando cada una de las vías de exposición (tabla 2) por la siguiente fórmula (US EPA, 2000):

$$HQ = \text{Dose}_{\text{FoodIngestion}} / \text{Rfd}_{\text{Ingestion}} + \text{Dose}_{\text{DermalContact}} / \text{RfD}_{\text{Dermal}}$$

Las Rfd son dosis de referencia que se pueden obtener en diferentes bases de datos expuestas anteriormente.

TABLA 5. RESULTADOS DEL RIESGO NO CARCINÓGENO (HQ)

Metales pesados	Cociente de peligro (HQ)
Ca	1,59
Cr	1,002 9
Al	1 000
Co	0,04
Cu	1,056
Mn	0,42
Ni	0,29
Zn	0,006

Análisis de los resultados

A diferencia de la caracterización del riesgo carcinógeno, en el cálculo del cociente de peligro, el riesgo individual no se multiplica por el tamaño de la población expuesta ya que la relación dosis-respuesta no es lineal para todas las sustancias. Por lo tanto, en la caracterización de riesgo no carcinógeno el tamaño de la población sólo se apunta como un factor a considerar en la evaluación final.

Sin embargo se plantea que valores cercanos o por encima de la unidad indican valores inaceptables de riesgo asociado a la exposición (Lorenzo Blanco, 2007).

De acuerdo a lo anterior y como se observa en los cálculos realizados (tabla 5), el cociente de peligro para el cadmio, cobre, aluminio y el cromo sobrepasa la unidad, por lo que trae consigo un riesgo inaceptable como sustancias tóxicas no carcinógenas en las manifestaciones de enfermedades con riesgo para la salud humana.

A partir de los valores de los cocientes de peligro se puede inferir que el que más afecta a la salud

humana es el Aluminio, por cuanto su índice de peligro dio un valor elevado.

Después de calcular los diferentes niveles del riesgo se pasa a la segunda fase, que tiene una gran complejidad por la capacidad de administración, dirección y gestión que involucra: La gestión del riesgo.

Los resultados de la evaluación de riesgos son los que sirven de base a la fase de gestión de riesgos. Mientras que la evaluación de riesgos evalúa la probabilidad y magnitud de las relaciones entre los efectos sobre la salud y los contaminantes, la gestión de riesgos es un proceso utilizado para decidir si un nivel de riesgo es aceptable en un contexto más grande (social, económica y política; y/o; seleccionar opciones de reducción del riesgo (por ejemplo, ya sean soluciones técnicas o con una base política, y evaluar la relación costo-beneficio de las opciones propuestas).



Conclusiones

1. El estudio bibliográfico efectuado en esta investigación arrojó que a pesar de los niveles de

contaminación que presenta la zona de estudio, nunca ha sido objeto de una evaluación de riesgos para la salud humana, esto es aun mucho más importante si tenemos en cuenta la zona de la playa ubicada en la ciudad de Caibarién.

2. Del análisis de riesgos para los metales pesados con efectos carcinógenos se determinó que todos sobrepasan el límite permisible de 1×10^{-5} , lo que constituye un riesgo potencial a la salud humana pudiendo contribuir al desarrollo de diferentes tipos de cáncer.

3. La evaluación de riesgos sistémicos, a partir del cálculo del cociente de peligro indican que los metales que tienen una mayor afectación a la salud humana son el cobre, aluminio y el cromo que sobrepasan la unidad, lo que trae consigo un riesgo inaceptable como sustancias tóxicas no carcinógenas en las manifestaciones de enfermedades con riesgo para la salud humana.

Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración de la Lic. Dianelys Fernández Parrado, Lic. Manuel García Castro y al Tco. Juan M. García Moya de la Oficina de Manejo Costero del Este de Caibarién (CESAM), CITMA, Villa Clara por su apoyo en la realización del trabajo.



Bibliografía

- GARCÍA, N.; O. PUENTES; J. F. MONTALVO. "Contaminación orgánica en el sector de la bahía de Buenavista cercano a la desembocadura del río Guaní", Villa Clara, Cuba. *Memorias del III Simposio Internacional de Química*. Del 5 al 8 de junio de 2007, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Santa Clara, Cuba. Editorial Feijóo. ISBN 978-959-250-337-3, CD-R. 2007.
- MONTALVO, J. F.; E. PERIGÓ; L. RODAS. Calidad abiótico-ambiental de los cuerpos de aguas interiores y arrecifes coralinos del archipiélago Sabana-Camagüey. Informe final del proyecto GEF/PNUD CUB/98/G32. 72 p., 13 figuras y 12 tablas, 2006.
- MONTALVO, J. F. *et al.* "Fuentes de contaminación de la zona costera de la provincia de Villa Clara, Cuba". *Contribución a la Educación y la Protección Ambiental*. Vol. 8. (2008) pp. 154 – 161.
- <http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/crthgr01.php>
- http://www.ci.east-palo-alto.ca.us/economicdev/pdf/Risk_Assessment.pdf
- <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3145/1/53313-1.pdf>.
- <http://www.waste.ky.gov/NR/rdonlyres/F9AA38F4-D69E-42B4-9D0D-E45AE04CBDDB/0/Region9PRGs.pdf>
- <http://www.epa.gov/ncea/iris/subst/0005.htm#oralrfd>
- <http://www.iarc.fr/en/websites/index.php>
- JOHNSON, S. "Proposed Remedial Action for the Delaware National/Hercules Golf Course site". Personal Communication. EPA, 2007.
- LORENZO BLANCO, J. P. "Criterios claves y estándares de calidad en la descontaminación de suelos". Seminario sobre Tecnologías Limpias en suelos contaminados. Unión Europea, 2007.
- MARTÍNEZ-CANALS, M.; R. PÉREZ; A. RODRÍGUEZ; Y. LORENTE. "Nivel de contaminación metálica de los sedimentos de fondo de algunas zonas de la plataforma insular cubana". *Contribución a la educación y la protección ambiental*. pp. 65-69. 1998.
- NC-25:1999. "Evaluación de los objetos hídricos de uso pesquero". 1999.
- NC-22: 1999. "Lugares de baño en costas y en masas de aguas interiores". 1999.
- NC-521:2007. "Vertimiento de aguas residuales a la zona costera y aguas marinas. Especificaciones. Obligatoria". 2007.
- NC-27:1999. "Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones".
- US EPA. Risk Assessment Guidance For Superfund Volume I. Human Health Evaluation (Part A). U.S. Environmental Protection Agency. Risk Assessment Forum. Washington, D.C. EPA/540/1-89/002. December. 1989.
- US EPA. Guidelines for Exposure Assessment. Published on May 29, 1992. Federal Register 57(104):22888-22938. Risk Assessment Forum. U.S. Environmental Protection Agency Washington. DC. 139 pp. 1992.
- US EPA. Exposure Factors Handbook. U.S. Environmental Protection Agency Washington. D.C. EPA/600/P-95/002fa August. 1997.
- US EPA. *Handbook For Non-Cancer Health Effects Valuation*. EPA Science Policy Council U.S. Environmental Protection Agency Washington. DC 20460. December. 2000.