
REVISIÓN DE LAS METODOLOGÍAS SOBRE EVALUACIÓN DE RIESGOS EN SALUD PARA EL ESTUDIO DE COMUNIDADES VULNERABLES EN AMÉRICA LATINA

CÉSAR A. ILIZALITURRI, DONAJI GONZÁLEZ-MILLE, NADIA A. PELALLO, GABRIELA DOMÍNGUEZ, JESÚS MEJÍA-SAAVEDRA, ARTURO TORRES DOSAL, IVÁN PÉREZ-MALDONADO, LILIA BATRES, FERNANDO DÍAZ-BARRIGA y GUILLERMO ESPINOSA-REYES

RESUMEN

Los métodos para evaluar el riesgo en salud se basan, en general, en el monitoreo ambiental y en la estimación de la exposición a través de modelos matemáticos. La incertidumbre de tal estrategia es grande. En consecuencia, para incrementar la certidumbre sobre la evaluación de la exposición a los contaminantes, se ha propuesto el empleo de biomarcadores. No obstante, la complejidad de los nuevos escenarios de riesgo obliga a evaluar no solamente a las poblaciones humanas sino también al resto de la biota. Asimismo, factores ambientales, sociales y de salud,

al afectar la vulnerabilidad, también deben ser considerados para la caracterización del riesgo. Estos factores de vulnerabilidad pueden evaluarse a través de indicadores. Al final, con los análisis ambientales, el uso de biomarcadores y el manejo de indicadores ambientales, sociales y de salud, puede evaluarse el riesgo de manera integrada (humanos y biota). En esta revisión se presentan las diversas estrategias empleadas por este grupo de trabajo para evaluar el riesgo en sitios contaminados, comunidades marginadas y en áreas afectadas por el cambio global climático.

En el campo de la salud ambiental, el término riesgo significa la probabilidad de que un efecto no deseado ocurra como resultado de la exposición a diferentes agentes causales (tóxicos, xenobióticos, contaminantes, etc.). Sin embargo, hay que considerar que la ocurrencia de un efecto adverso depende no solo de la dosis interna que se alcance de un determinado tóxico tras la exposición, sino también de otros factores como la variabilidad interindividual asociada a factores

biológicos (genética, edad, sexo, raza, toxicocinética, etc.) y de estilos de vida individuales, entre otros.

En este contexto, el proceso de evaluación del riesgo se transforma en materia de salud pública y adquiere relevancia. No obstante ello, la evaluación del riesgo no siempre se materializa, ya que lograrla implica contar con información de tres factores: i) la fuente del agente causal (p.e., la fuente de contaminación); ii) el medio por el cual este agente entra en contacto con la población recep-

tora; y iii) la población receptora. Para que exista un riesgo, la población debe entrar en contacto con el tóxico, es decir, debe haber exposición. Sin embargo, para que ocurra un efecto biológico que puede o no terminar en un daño a la salud, normalmente el contacto no es suficiente, sino que se requiere de la entrada del tóxico al organismo del ser vivo expuesto.

En los sitios contaminados es común que la problemática ambiental involucre múltiples factores estresantes y varios medios impactados. Por lo

PALABRAS CLAVE / Evaluación de riesgos / Evaluación integrada / Impacto en salud /

Recibido: 03/10/2008. Modificado: 06/10/2009. Aceptado: 07/10/2009.

César Arturo Ilizaliturri Hernández. Maestro en Ciencias Ambientales. Investigador, Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP), México.

Donaji Josefina González Mille. Maestra en Ciencias Ambientales. Investigadora, UASLP, México.

Nadia Azenet Pelallo Martínez. Maestra en Ciencias Ambientales. Investigadora, UASLP, México.

Gabriela Domínguez. Doctora en Ciencias Ambientales. Investigadora, UASLP, México.

Jesús Mejía Saavedra. Doctor en Investigación Biomédica Básica. Profesor Investigador, UASLP, México.

Arturo Torres Dosal. Doctor en Ciencias Ambientales. Profesor Investigador, El Colegio de la Frontera Sur, Villahermosa, (ECOSUR), México.

Iván N. Pérez-Maldonado. Doctor en Investigación Biomédica Básica. Profesor Investigador, UASLP, México.

Lilia E Batres Esquivel. Licenciada en Químico-fármaco-biología. Profesora Investigadora, UASLP, México.

Fernando Díaz-Barriga Martínez. Doctor en Biología Celular. Profesor Investigador, UASLP, México.

Guillermo Espinosa Reyes. Doctor en Ciencias Ambientales. Investigador, UASLP, México. Dirección: Avenida Venustiano Carranza No. 2405, Col Lomas los Filtros, San Luis Potosí 78210, SLP, México. e-mail: espinosareyes@gmail.com

tanto, no resulta extraño que los tomadores de decisión requieran simplificar la complejidad a fin de ordenar, guiar o diseñar medidas de intervención que reduzcan los riesgos identificados. En este contexto surgen las metodologías que tienen precisamente como objetivo, la identificación de los riesgos y la determinación de las magnitudes de los riesgos identificados. En esta revisión del tema se presenta el estado del arte de las metodologías para la evaluación de los riesgos en salud derivados de la exposición a sustancias químicas y contaminantes ambientales, con la idea de discutir su utilidad en los países de América Latina.

Escenarios que Requieren la Evaluación de Riesgos

Como se señaló, los riesgos en salud se generan por una exposición a agentes causales. En general, éstos pueden ser químicos (sustancias químicas contaminantes del ambiente, fármacos, productos industriales, etc), físicos (radiación), o biológicos (microorganismos patógenos). Si bien la naturaleza de estos distintos peligros que pueden llegar a suponer una amenaza para la salud humana obligan a aproximaciones metodológicas muy distintas, en el presente trabajo se hará referencia exclusivamente a las evaluaciones por exposición a sustancias tóxicas y peligrosas.

Donde dichos tóxicos se encuentren presentes, habrá la necesidad de realizar una evaluación de riesgos. Sin embargo, es importante tomar en cuenta dos factores: i) la concentración del contaminante y ii) la temporalidad de la exposición.

La exposición a un agente causal, o a una mezcla de ellos, no basta para que exista un efecto en salud. Para que eso ocurra el agente debe alcanzar su concentración tóxica. Sin embargo, debe considerarse que la concentración tóxica puede ser muy baja si la exposición ocurre en una etapa de vulnerabilidad biológica. Estas ventanas de vulnerabilidad pueden presentarse previas al nacimiento, como por ejemplo la preconcepción (que involucra a la madre), la etapa embrionaria, fetal o posteriores al nacimiento: neonatal, infancia, niñez y hasta la adolescencia. Es importante señalar que aún cuando la exposición al agente tóxico ocurra en alguna de estas etapas el efecto puede presentarse tiempo después, incluso en el individuo adulto, pues existe un periodo de latencia de un efecto adverso por una exposición a un contaminante (EPA, 2006; IPCS, 2006; Gilbert y Miller, 2008). De manera tal que las poblaciones receptoras que merecen mayor atención

son la de mujeres embarazadas, los infantes y los niños.

En un enfoque más novedoso, el concepto de poblaciones receptoras debe expandirse a los diferentes componentes del ecosistema, por lo que en organismos de vida silvestre habría que considerar etapas críticas (etapas larvarias, huevos, crías, etc.). Mientras que en un enfoque bajo el concepto de paisaje se debe tomar en cuenta los ecosistemas frágiles o perturbados y, finalmente, en un enfoque ecosistémico habría que tomar en cuenta la calidad de los recursos.

En este contexto, la presente revisión se enfocará en: i) las metodologías tradicionales de evaluación de riesgos en salud que normalmente se aplican en sitios contaminados por residuos peligrosos, ii) las metodologías de evaluación de riesgos sanitarios que pueden aplicarse en escenarios de alta marginación social, iii) las novedosas metodologías de evaluación integrada de los riesgos en salud para sitios de alta complejidad química, y iv) una nueva propuesta metodológica para evaluar sitios climáticos, sitios donde la exposición a factores estresantes se incrementa por el cambio global climático.

Evaluación de Riesgos en Salud

La necesidad de realizar una evaluación de riesgos en salud en sitios contaminados, bajo una metodología científica, surge el siglo pasado, alrededor de los años 80s, cuando en EEUU se establecen leyes y reglamentos para estudiar áreas impactadas por elementos tóxicos. Entonces, tanto la Agencia de Protección Ambiental (EPA por sus siglas en inglés; EPA, 2004) como la Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades –(ATSDR por sus siglas en inglés; ATSDR, 2008) generaron opciones metodológicas. Estas opciones parten de una amplia evaluación ambiental (cuantificando tóxicos en los medios involucrados en las rutas de exposición) para después, mediante definición de escenarios de exposición y tratamiento probabilístico de la información (p.e., modelos de simulación Montecarlo), generar estimados cuantitativos de riesgo. Estas metodologías son útiles pero en mayor o menor grado se enfrentan a incertidumbres, siendo una de las mayores la incertidumbre relativa a la exposición.

El no definir el riesgo de manera adecuada puede implicar el gasto innecesario de recursos económicos en la limpieza de un sitio. En América Latina, ante la pobreza, la educación insuficiente, la falta de empleos adecuados bien remunerados, y ante otras muchas carencias

sociales, la cuestión ambiental no es de alta prioridad. Es decir, no es posible arriesgar la erogación de recursos económicos cuantiosos en limpieza de sitios solo por una mala definición de riesgo. Es así que la Organización Panamericana de la Salud (Díaz-Barriga, 1999) encabezó un análisis crítico de las metodologías existentes para mejorarlas, disminuyendo su incertidumbre. Como resultado se propuso el uso de biomarcadores de exposición y de biomarcadores de efecto. Los primeros implican el monitoreo de las sustancias tóxicas o sus metabolitos en fluidos biológicos o tejidos del individuo supuestamente expuesto. Por citar un ejemplo, no basta en esta metodología muestrear plomo en suelo, sino que también debe realizarse un análisis de plomo en sangre, que certificaría la absorción del compuesto. Por otra parte, el empleo de biomarcadores de daño o de efecto, representa el hecho que el tóxico ya absorbido ha comenzado a afectar la función celular. Ejemplos de estos biomarcadores de efecto o de daño son la actividad de enzimas (como las colinesterasas en pacientes expuestos a insecticidas organofosforados; Joshaghani *et al.*, 2007); la apoptosis (en niños expuestos al DDT; Pérez-Maldonado *et al.*, 2004) y la disminución del coeficiente intelectual (en niños expuestos a plomo; García-Vargas *et al.*, 2001; Canfield *et al.*, 2003).

La evaluación de riesgos en salud se emplea principalmente en sitios contaminados. En México, los sitios peligrosos contaminados con sustancias tóxicas pueden clasificarse en sitios mineros, regiones agrícolas, zonas industriales, campos petroleros, depósitos de residuos o basura, cuerpos de agua contaminados, y áreas afectadas por contaminación natural (yacimientos, volcanes, incendios, etc.; Díaz-Barriga, 1996). La situación en México, quizá con algunas modificaciones puntuales, resulta similar a la presentes en otras naciones latinoamericanas. En consecuencia, en la región nos enfrentamos a un problema de salud pública donde potencialmente existen riesgos a la salud humana, por lo que es muy importante contar con una guía para evaluar su peligrosidad. Nuestro grupo ha tenido éxito al aplicar biomarcadores de exposición y de efecto en las metodologías de riesgo.

En una zona urbana contaminada con As y Pb por una metalúrgica se demostró exposición infantil midiendo Pb en sangre y As en orina (Díaz-Barriga *et al.*, 1993a; Calderón *et al.*, 2001; Carrizales *et al.*, 2006) y se registró daño neuropsicológico asociado al As (Calderón *et al.*, 2001); utilizando modelado se logró definir las rutas de exposición (Carrizales *et al.*, 2006). A partir de estos estudios,

la empresa responsable actuó y ahora los niveles de Pb en sangre y As en orina en los niños son menores a los de hace 20 años (Carrizales *et al.*, 2006). Este tipo de trabajo se implementó en otras zonas metalúrgicas, y en una de ellas se evaluó el riesgo retrospectivo utilizando modelado y valores de Pb en sangre (Díaz-Barriga *et al.*, 1997a); en otra zona las investigaciones fueron la base de la restauración de un pasivo ambiental (Hicks *et al.*, 2006).

La contaminación natural de acuíferos por flúor es un problema de varios países en América Latina. Destacan, sin embargo, los casos de Argentina y México. Solamente en México más de seis millones de individuos viven en áreas donde el agua potable tiene valores altos de este elemento (Díaz-Barriga *et al.*, 1997c). Señalar que el F puede representar un riesgo no es fácil, ya que este elemento ha sido utilizado ampliamente para la protección contra la caries; en consecuencia, definir su toxicidad ha implicado realizar estudios de efectos en la salud. Nuestro grupo en una ciudad afectada por este elemento, demostró la exposición infantil a través de la cuantificación del F en orina (Grimaldo *et al.*, 1995), el daño por fluorosis dental (Grimaldo *et al.*, 1995), fluorosis esquelética (Calderón *et al.*, 1995), daño reproductivo (Ortiz-Pérez *et al.*, 2003) y alteraciones neuropsicológicas (Rocha-Amador *et al.*, 2007). En forma paralela se demostró la contaminación, identificando las principales rutas de exposición, así como la estimación del riesgo por consumo de F en agua, bebidas, sal, etc. (Díaz-Barriga *et al.*, 1997b; Grimaldo *et al.*, 1997).

Como resultado de los datos obtenidos, ahora las embotelladoras de esa ciudad cuentan con sistemas de potabilización (como ósmosis inversa); también se propusieron reformas a la normativa para flúor en agua potable, cambio que aparecerá para su revisión en la próxima modificación de las normas mexicanas para agua potable. Pero quizá la mejor prueba de que los biomarcadores funcionan es un estudio de exposición efectuado entre trabajadores de un confinamiento para residuos industriales (Díaz-Barriga *et al.*, 1993b; Gonsebatt *et al.*, 1995). La caracterización ambiental era imposible, dado que en el sitio a estudiar había miles de toneladas de residuos industriales de procedencia y contenido desconocidos. Se optó por evaluar la genotoxicidad en los trabajadores expuestos y los resultados fueron alentadores, ya que los trabajadores de mayor antigüedad y potencialmente más expuestos presentaron los mayores efectos. Ahora bien, el uso indiscriminado de biomarcadores puede traer falsos resultados si no se consideran

parámetros toxicocinéticos; por ejemplo, en niños se mostró que la exposición a deltametrina solo puede medirse antes de los tres días posteriores al contacto con este insecticida piretroide (Ortiz-Pérez *et al.*, 2005).

En conclusión, la modificación metodológica de la evaluación de riesgos en salud utilizando biomarcadores de exposición y de efecto disminuye las incertidumbres, permite generar instrumentos de gestión que llevan al diseño de medidas para la reducción de los riesgos, así como para redefinir y orientar de forma más efectiva estudios epidemiológicos subsiguientes, permitiendo establecer mejores hipótesis de relación causal entre la exposición a un determinado tóxico y el efecto en la salud. No obstante, esta metodología debe tomar en cuenta las principales limitaciones en el uso de biomarcadores, como pueden ser los costos (acorde a la complejidad del escenario de exposición y a la elección de los biomarcadores), la necesidad de equipamiento y capacidad técnica, y su aplicabilidad en función de su toxicocinética y toxicodinamia (p.e., respuesta del biomarcador contra la duración e intensidad del la exposición).

Evaluación de Riesgos Sanitarios

El abordaje de la evaluación de los riesgos sanitarios que enfrentan las poblaciones humanas conduce no solo a la evaluación de la exposición a sustancias tóxicas y/o nocivas y a sus respectivos efectos sobre su salud, sino también a la identificación y análisis de otros factores ambientales adversos relacionados con la falta de agua potable y de servicios de saneamiento básicos, la falta de infraestructura, así como a la falta de educación y hábitos de higiene en poblaciones que, además, viven bajo condiciones de alta marginación y pobreza. Estas comunidades son, entonces, altamente vulnerables no solo por las múltiples exposiciones ambientales, sino por el ambiente social que les rodea (Lee, 2002).

El análisis de temas de salud pública bajo esta perspectiva conduce al problema de enfrentarse a múltiples factores (sociales, ambientales, culturales, de salud) cuya interrelación acentúa los riesgos que se manifiestan a través de enfermedades como diarreas, infecciones respiratorias, enfermedades infecto-contagiosas y transmisibles, así como intoxicaciones por exposición a plaguicidas y alimentos contaminados. De aquí que, desde una perspectiva internacional, en los países pobres, un niño muere cada 15seg por enfermedades diarreicas (Morris, 2004), 200 millones de niños en el mundo no al-

canzan su desarrollo potencial (OMS, 2008), más de cinco millones de infantes de 0-14 años mueren cada año por enfermedades relacionadas con condiciones ambientales adversas, principalmente en países en desarrollo, lo que significa en promedio 13000 muertes infantiles por día (UNICEF/OMS, 2002).

Asimismo, la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha estimado que en todo el mundo el 24% de la carga de morbilidad (años de vida sana perdidos) y ~23% de todas las defunciones (mortalidad prematura) se encuentran relacionadas con factores ambientales, pero en los niños de 0-14 años, el porcentaje de muertes atribuibles al medio ambiente es de hasta un 36% (Prüss-Üstün y Corvalán, 2006). Entre las enfermedades con mayor carga absoluta atribuible a factores ambientales modificables figuran la diarrea, las infecciones de las vías respiratorias inferiores y el paludismo. La carga de morbilidad por diarrea está asociada en ~94% con factores de riesgo ambientales tales como el consumo de agua no potable, el saneamiento y la higiene insuficientes (Cifuentes *et al.*, 2002; Morris, 2004; Prüss-Üstün y Corvalán, 2006). Por su parte, las infecciones de las vías respiratorias inferiores se asocian a la contaminación del aire en locales cerrados, relacionada en gran medida con la utilización de combustible sólido en los hogares y posiblemente con la exposición pasiva al humo del tabaco, así como con la contaminación del aire exterior (Riojas *et al.*, 2001; Smith, 2003; Balakrishnan *et al.*, 2004; Schei *et al.*, 2004; Prüss-Üstün y Corvalán 2006; Deherani *et al.*, 2008). En países desarrollados, ~20% de las infecciones respiratorias son atribuibles a causas ambientales, y en los países en desarrollo ese porcentaje llega hasta un 42% (Prüss-Üstün y Corvalán, 2006). Finalmente, la prevalencia de paludismo atribuible a factores ambientales modificables es de un 42%, y está asociado a las políticas y prácticas de aprovechamiento de tierras, deforestación, ordenación de los recursos hídricos, ubicación de los asentamientos, y modificación del diseño de las viviendas (Prüss-Üstün y Corvalán, 2006).

El agua contaminada y el uso de biomasa al interior de las viviendas son dos prioridades ambientales que urge atender (Balakrishnan *et al.*, 2004; Prüss-Üstün y Corvalán, 2006; Deherani *et al.*, 2008). Las enfermedades diarreicas asociadas a la falta de acceso al agua potable y a un saneamiento insuficiente ocasionan ~1,7 millones de defunciones cada año. En tanto, el uso doméstico de combustibles de biomasa y carbón por más de la mitad de la población mundial causa 1,5 millones de muertes al año

debido a enfermedades respiratorias relacionadas con la contaminación.

Según lo anterior, surgen los siguientes cuestionamientos: ¿Cómo evaluar riesgos sanitarios? ¿Cómo evaluar riesgos que tienen que ver con la contaminación, con la marginación, con la pobreza y con tantos otros factores de desigualdad social? Obviamente no cabe seguir un método tradicional, y tampoco es posible emplear las metodologías de evaluación de salud que se han planteado en países desarrollados tales como Australia (Beer y Ziolkowski, 1995) o los de la Unión Europea (Ferguson *et al.*, 1998). En nuestro caso es preferible seguir la evaluación a través del uso de indicadores, valorando indicadores sociales, ambientales y de salud, seleccionándolos a partir de un análisis detallado de indicadores ya existentes y ampliamente utilizados (Eyles y Furgal, 2000; CONAPO, 2000; OMS, 2000; OPS-OMS 2000, 2001; SSA-PRASA, 2001; DGSA, 2002; PNUMA-OPS, 2003).

En un ejercicio real, nuestro grupo de trabajo llevó a cabo, en primer término, la obtención de información de algunos indicadores de importancia local, identificando sus posibles relaciones. Por ejemplo, nivel de marginación, acceso a servicios médicos, uso de fogones y leña en interiores, daño respiratorio y/o genotóxico, y enfermedad pulmonar crónica obstructiva. Así, recientemente se aplicó la metodología en una comunidad indígena de la región Huasteca (Torres-Dosal *et al.*, 2008), donde todos los habitantes empleaban leña para la preparación de sus alimentos en fogatas interiores. El uso de leña genera contaminación en interiores a través del humo (partículas suspendidas, monóxido de carbono, etc.) y a través del hollín (hidrocarburos aromáticos policíclicos tales como PAH, formaldehído, etc.). Al aplicar la metodología fueron detectadas las fuentes contaminantes y además, se pudo controlar la principal fuente por medio de estufas con chimenea (esquema normal de múltiples programas en comunidades indígenas). Se mejoraron las condiciones de la vivienda limpiando el hollín en techos y pavimentando los pisos de tierra. Al evaluar la exposición (PAH y CO) y los efectos biológicos (síntomas respiratorios y genotoxicidad) antes y después de la intervención, se mostró que el programa resultó efectivo y el gobierno estatal lo ha venido instrumentando en varias comunidades.

En este primer abordaje, se logró atacar un problema de salud, considerando algunos determinantes sociales tales como marginación y pobreza, reflejados en pisos de tierra y uso de leña como biocombustible en las viviendas, así como determinantes ambientales tales

como la contaminación del aire interior (CO y PAH). Lo anterior redundó en la mejora de aspectos de tipo ambiental, social y de salud de una manera más articulada. Cabe aclarar que esta aproximación metodológica, no busca las relaciones causales de tipo lineal entre uno u otro factor de riesgo, sino más bien persigue la identificación de factores adversos que de manera sinérgica condicionan la salud y calidad de vida de la población.

No obstante, profundizando aspectos de la salud comunitaria, se llevó a cabo otro estudio que tuvo como objetivo central identificar y comparar los principales problemas de salud asociados a la injusticia ambiental en tres sitios del área metropolitana de San Luis Potosí. Se realizó una evaluación integral de salud a nivel comunitario, mediante la aplicación de 36 diferentes indicadores (sociales, ambientales, salud) en población infantil que habita en Milpillars (comunidad peñadora suburbana con alto nivel de marginación), en Tercera Chica (comunidad ladrillera urbana con muy alto nivel de marginación) y en Zona Centro (comunidad urbana con baja marginación y con tráfico vehicular).

Los indicadores fueron organizados y clasificados según su naturaleza en cuatro grupos: morbilidad, determinantes directos de salud, determinantes sociales, y determinantes ambientales, y se aplicaron criterios de calidad, considerando factores de riesgo reales y/o potenciales (Domínguez, 2009).

A partir de un análisis epidemiológico (prevalencias, razones de momios de prevalencias-RMP, riesgo atribuible proporcional-RAP y vulnerabilidad total-VT) y del empleo de técnicas de estadística multivariada de tipo exploratorio, se construyeron escenarios multidimensionales de riesgo en salud, y se identificaron factores determinantes y condicionantes de salud y vulnerabilidad en esas comunidades.

Dichos escenarios no solo mostraron evidencia de la compleja problemática de salud que enfrentan estas comunidades, principalmente en las de mayor marginación y pobreza (Milpillars y Tercera Chica), sino que mediante la ponderación, jerarquización y priorización de los factores de riesgo identificados bajo esta perspectiva holística, se generaron diagnósticos integrales de salud y vulnerabilidad comunitaria expresados cuantitativamente mediante la generación de un "Índice de Salud Comunitaria" que proporciona información para la toma de decisiones y diseño e implementación de programas de intervención acordes con las necesidades reales de cada comunidad (Domínguez, 2009).

Evaluación Integrada de Riesgos

Una buena salud ambiental supone una buena calidad de vida bajo un enfoque ecosistémico; esto es, que el ser humano debe ser tomado en cuenta como un participante más de todo un ecosistema. En consecuencia, los factores ambientales que pueden afectar a la población no se reducen a las sustancias químicas, físicas o biológicas que directamente pueden afectar a la salud, sino también a aquellos factores que al afectar al ecosistema, afectan la calidad de vida. Entre otros cabe mencionar al cambio climático, la ruptura y adelgazamiento de la capa de ozono, la desertificación, y la deforestación.

Por razones prácticas, las metodologías de evaluación de riesgo para salud humana y para biota (riesgo ecológico) se han desarrollado de manera independiente; sin embargo, se reconoce cada vez más la necesidad de establecer mejores niveles de protección tanto para el ser humano como para los otros componentes del ambiente. Por ello surge la necesidad de diseñar una metodología de evaluación integrada de riesgo que contemple tanto a la población humana como a otros receptores ecológicos en un solo proceso. En materia ambiental las decisiones no pueden ser completamente adecuadas si únicamente se considera de forma parcial la protección a los humanos o a otras especies de fauna y flora. En muchos casos la contaminación ambiental afecta más a los receptores no humanos, debido a una mayor exposición o dado que estos individuos resultan ser los más sensibles a los efectos negativos (Suter, 1993; Aylward *et al.*, 1996). La falta de integración frecuentemente conduce a que tanto los evaluadores de riesgo humano como de riesgo ecológico generen evidencias que podrían parecer contradictorias acerca de la naturaleza de los riesgos asociados a un sitio contaminado.

Resulta entonces clara la necesidad de establecer una metodología de evaluación integrada de riesgo, cuyos objetivos: i) mejorar la calidad y la eficiencia del proceso de evaluación por medio del intercambio de información entre la salud humana y los estudios ecotoxicológicos, y ii) proveer mejores argumentos para el proceso de toma de decisiones ambientales. El esquema que sigue nuestra propuesta integrada no pretende conjuntar las metodologías ya existentes de la Evaluación del Riesgo en Salud (Díaz-Barriga, 1999; EPA, 2004) y de la Evaluación del Riesgo Ecológico (Suter, 1993; EPA, 1994a, b, 1998, 1999) debido a que, de seguir ese camino, se tendría una metodología larga, complicada y costosa. Por el

contrario, para el diseño del método integral solamente se han tomado los puntos clave de ambas; es decir, este esfuerzo integrado debe ser considerado como una propuesta diferente y no como un sustituto de las metodologías ya existentes. Asimismo, este nuevo diseño se ha gestado tomando en cuenta las limitaciones principalmente económicas, de información y personal capacitado generalmente prevalentes en los países en desarrollo.

En el esquema de la Figura 1 se muestran las diferentes etapas que componen la metodología. En la primera etapa se genera un modelo de sitio, tomando en cuenta las condiciones del área y los tóxicos presentes. Se establecen las rutas y se definen las poblaciones receptoras. Para los humanos la definición como población receptora es más sencilla, ya que se basa en los puntos de exposición a los contaminantes, pero para la biota, dado el gran número de especies susceptibles al riesgo, la determinación de las especies críticas es un punto clave. Tomamos como criterios de selección: facilidad de captura, tipo de contaminante, rutas y vías potenciales de exposición, biología conocida de las especies, posición en la red trófica, estatus de conservación y carisma.

En la siguiente etapa se evalúa la exposición en los diferentes receptores a través de: i) un monitoreo ambiental, con el fin de determinar concentraciones de los contaminantes presentes en el sitio (una vez seleccionadas las especies, es importante establecer el grado de contaminación en su hábitat) y ii) biomarcadores de exposición. Ambos casos son de utilidad para el establecimiento de un gradiente de concentración y/o para la elección de sitios de referencia. Para el caso de la biota, en muchos de los casos no es posible encontrar valores de referencia, y por lo tanto se deben generar mediante modelos toxicológicos.

Posteriormente se evalúan los efectos en las poblaciones en riesgo, para lo cual se utilizan biomarcadores de efecto (genotóxicos, disruptores endócrinos, etc). Para la evaluación de los efectos en niveles de organización biológica superiores en el escenario ecológico (individuo, población y comunidad) se toman en cuenta características generales de los individuos, parámetros poblacionales e índices bióticos para la comunidad.

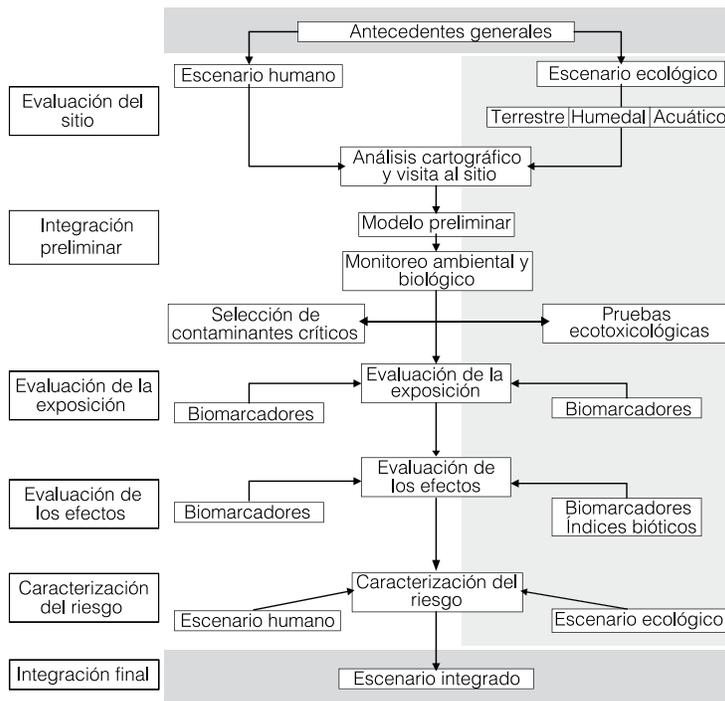


Figura 1. Diseño para la evaluación integrada de riesgos.

Enseguida se realiza la caracterización del riesgo en los diferentes escenarios. Es aquí donde se propone la caracterización integrada del riesgo que permite la asignación conjunta de las magnitudes de los efectos adversos en el sitio de estudio.

Esta metodología fue aplicada en el sitio minero de Villa de la Paz, en el Estado de San Luis Potosí, el cual ha sido explotado por más de 200 años (Razo *et al.*, 2004). El material que se extrae del subsuelo, rico en sulfuros polimetálicos, ha provocado que se haya depositado un gran volumen de residuos mineros tipo terreros y jales en los alrededores del poblado, ricos en As y Pb, siendo éstos los principales contaminantes del área (Razo *et al.*, 2004). Los estudios realizados en el área (Jasso *et al.*, 2007) indicaron que la contaminación (As) presente estaba relacionada con el daño al ADN encontrado tanto en niños habitantes del lugar, como en roedores (*Dipodomys merriami* y *Chaetodipus nelsoni*) cuyo hábitat se encuentra en las zonas de mayor concentración de metales. Además se demostró: i) una relación entre la exposición y el efecto genotóxico en ambos grupos (niños y roedores), y ii) que los efectos, tanto en humanos como en roedores, eran muy superiores a los encontrados en las poblaciones de baja exposición utilizadas como referencia.

La evaluación integrada de riesgo realizada en Villa de la Paz presenta las siguientes ventajas: 1) Coherencia en los resultados. Esto permite tener

bases sólidas para apoyar en la toma de decisiones. Cuando se obtienen resultados de evaluaciones derivadas de evaluaciones realizadas de manera independiente, su interpretación resulta muy compleja. Los resultados obtenidos demuestran que existe el mismo efecto adverso en dos receptores ecológicos distintos (humanos y roedores). 2) Interdependencia. Una de las razones por las cuales se relaciona el riesgo ecológico con la salud humana se debe a que todas las actividades del ser humano dependen de los recursos bióticos. Por lo tanto, si la biota se encuentra afectada y/o en riesgo de estarlo, la salud de la población también puede verse perjudicada. 3) Organismos centinela. Debido a sus hábitos de conducta los roedores se encuentran más expuestos que los humanos y por ello es posible

evaluar otros efectos adversos en la biota antes que éstos se presenten en el ser humano. Con los resultados obtenidos se puede afirmar que existe riesgo en salud humana y un potencial riesgo ecológico; sin embargo, en el proceso de integración es deseable el estudio de diversas especies en diferentes sistemas, preferentemente pertenecientes a distintos niveles tróficos. Aún es necesaria la implementación de la evaluación ecológica con mayor profundidad.

Evaluación de Riesgos en Sitios Afectados por Cambio Climático

La exposición infantil en los sitios contaminados o en las comunidades marginadas son tópicos que numerosos grupos han venido trabajando en distintas regiones del mundo. Pero ahora la salud ambiental enfrenta nuevos retos. Uno de ellos, quizá el de mayor riesgo, es el originado por el calentamiento del planeta. Una descripción del concepto de cambio global climático esta fuera de los objetivos de este trabajo, pero baste señalar que el incremento en la temperatura promedio del planeta ha sido asociado a diversos fenómenos, algunos de los cuales tienen que ver con la salud de todos los seres vivos (IPCC, 2007).

Entre los fenómenos asociados a la salud que más llaman la atención en el contexto del presente trabajo están cuatro: i) el aumento en la frecuencia de los desastres naturales (incendios forestales, huracanes, inundaciones, etc);

ii) la aparición de nuevas plagas (langosta); iii) la extensión o recrudecimiento de la presencia de vectores (malaria, dengue, etc); y, por supuesto, iv) el incremento en la temperatura promedio.

Estos fenómenos implican una amplia gama de nuevos escenarios de exposición, tales como la inhalación del humo proveniente de incendios forestales, el contacto con sedimentos contaminado procedente de las inundaciones, el uso de nuevos plaguicidas (fipronil) o de nuevas mezclas de plaguicidas ya en el comercio (mezclas de piretroides con organofosforados), y el incremento en la volatilidad, sobre todo de los compuestos semivolátiles. Al respecto, es de llamar la atención que en el sureste de México, donde no se aplica DDT desde el 2000, se ha venido observando un constante aumento de este insecticida en el aire (Alegria *et al.*, 2006) y en la sangre de la población (Pérez-Maldonado *et al.*, 2006). Una posible explicación del fenómeno es que las inundaciones han permitido remover el suelo y el incremento en la temperatura facilita la volatilización del insecticida.

Los escenarios generados por el cambio global climático son los más complejos, dado que abarcan áreas de por sí ya contaminadas y/o ya marginadas, pero donde, además, ahora se presentan nuevos riesgos y donde necesariamente deben estudiarse de manera simultánea los efectos en humanos y en biota. Por lo tanto, para evaluar estos sitios, se han conjuntado las metodologías de evaluación integrada del riesgo en salud y la metodología de evaluación de riesgos sanitarios, con lo cual se ha creado una nueva que ha sido denominada como metodología para evaluar de manera integrada la salud ambiental en niveles de emergencia (Metodología SANE).

Un nivel de emergencia asociado al cambio climático puede referirse a inundaciones, incendios, aplicación masiva de insecticidas por la aparición de una plaga, o cualquier otro evento que por períodos limitados de tiempo afectan de manera importante a comunidades rurales, áreas naturales protegidas, reservas de la biosfera, regiones indígenas, etc. Es decir, zonas de vulnerabilidad reconocida. La metodología adaptada al cambio climático básicamente consta de dos fases:

1. *Descripción del escenario de riesgo.* El objetivo de esta fase es diseñar un plan de estudio para evaluar los riesgos que hubieren sido identificados en la comunidad, a partir de datos oficiales y de información comunitaria. Es obvio que se requiere la visita al sitio y la identificación de rutas de exposición. No obs-

tante, el primer paso es lograr la participación de la comunidad, para con ella obtener un listado inicial de preocupaciones, en materia de salud, ambiente, sociedad y ecología. Este listado, junto con la información de fuentes diversas, permite generar una propuesta inicial de trabajo.

2. *Caracterización integrada del riesgo.* Teniendo como protocolo el plan desarrollado en la sección anterior, el evaluador procederá a obtener información cuantitativa que servirá como base de la decisión para establecer programas que lleven a la reducción de los riesgos identificados. En esta etapa se trabaja en los aspectos de i) vulnerabilidad social (educación, servicios médicos, condiciones socioeconómicas, etc.); ii) vulnerabilidad comunitaria (condiciones de los espacios infantiles y tóxicos prioritarios), monitoreo ambiental de contaminantes químicos y microorganismos en rutas de exposición; iii) salud en aspectos clínicos (toxicología clínica), de salud mental (psicología comunitaria, punto fundamental para la evaluación después de un desastre) y monitoreo (biomarcadores de exposición y de efecto); y iv) ecología, donde se valorarán aspectos de exposición y evaluación toxicológica en especies críticas.

Con toda la información puede definirse el nivel de riesgo. Para esto pueden utilizarse las herramientas y fórmulas de las metodologías tradicionales de evaluación de riesgo (dosis de exposición, cocientes de riesgo, etc.), pero en igual importancia deben plantearse los esquemas de escenarios de riesgo, enfatizando la integración de los indicadores (de salud, ambiente, sociedad y ecología) con los marcadores (ambientales y biológicos) y el peso de la evidencia científica. Dos factores son críticos: i) la identificación y priorización de las rutas de exposición, y ii) la priorización de los padecimientos relacionados con los riesgos identificados, punto para el cual el cálculo de los años perdidos por la carga de enfermedad sería una herramienta decisiva. Como toda metodología de riesgo, ésta concluye con un documento que por su información puede utilizarse como instrumento de gestión.

En conclusión, nuevos retos como el cambio climático están provocando novedosos escenarios de exposición a factores estresantes (químicos, físicos y biológicos) y, así, las metodologías de evaluación de riesgo deberán adaptarse para estudiar vulnerabilidad comunitaria, salud humana y efectos ecológicos, tanto en eventos de urgencia ambiental como en situaciones de más largo plazo. La integración de biomarcadores

con el uso de indicadores es un camino para lograr la flexibilidad requerida en este tipo de estudios.

América Latina

Evaluar el riesgo en salud en sitios contaminados, comunidades marginadas, ecosistemas en peligro o durante eventos de emergencia ambiental, implica realizar una actividad cuyo objetivo es la protección de la salud pública. Esto es relevante para una región como la de América Latina donde aún coexisten dentro de un mismo país una amplia gama de realidades culturales con diversos niveles de desarrollo económico y diferente grado de aplicación de programas en materia de salud ambiental.

Tomando en cuenta los múltiples escenarios que requieren de la evaluación de riesgos, una prioridad latinoamericana debería ser la formación de cuadros académicos con la capacidad de integrar conceptos de distintas disciplinas. Nuevos problemas añadidos a los habituales requieren de una nueva organización, para que así las problemáticas ambientales sean manejadas de forma coordinada no solo por las autoridades ambientales sino también y en conjunto con aquellas, por las autoridades de salud. Los escenarios son complejos y la multidisciplinaridad es la herramienta para evaluarlos.

En este escenario, la Organización Panamericana de la Salud ha jugado un importante papel desde hace ya más de 20 años. Ha promovido cursos de capacitación, integrado equipos internacionales de expertos para estudiar sitios contaminados en diferentes naciones, apoyado la publicación de manuales y, en fin, ha estado en la frontera del desarrollo del área en la región. Sin embargo, la OPS deberá mantener su ritmo dado que, como se ha planteado en el presente trabajo, la evaluación de riesgo ha evolucionado y ello ha ocurrido porque cada día los problemas ambientales son de mayor complejidad, afectando más y más no solo a los humanos sino también al resto de los seres vivos. Pero no todo será responsabilidad de la OPS. Al interior de cada país y de cada institución académica deben generarse nuevas reflexiones que lleven a esquemas de trabajo inéditos en el área y por ende, a la integración de nuevos equipos de profesionales.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo contó con el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT-SEMARNAT-2004-01-0238) y la colaboración con de la Organización Pana-

mericana de la Salud (Proyecto OPS-GEF-DDT).

REFERENCIAS

- Alegria H, Bidleman TF, Figueroa MS (2006) Organochlorine pesticides in the ambient air of Chiapas, Mexico. *Env. Pollut.* 140: 483-491.
- ATSDR (2008) *Public Health Assessment Guidance Manual*. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). www.atsdr.cdc.gov/HAC/PHAMaterial/index.html#foreword
- Aylward LL, Hays SM, Karch NJ, Paustenbach DJ (1996) Relative Susceptibility of Animals and Humans to the Cancer Hazard Posed by 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-pdioxin Using Internal Measures of Dose. *Env. Sci. Technol.* 30: 3534-3543.
- Balakrishnan K, Sumi M, Priti K, Padmavathi R, Sankar S, Kannappa SK, Kirk RS (2004) *Indoor Air Pollution Associated with Household Fuel Use in India. An Exposure Assessment and Modeling Exercise in Rural Districts of Andhra Pradesh, India*. The International Bank for Reconstruction and Development/World Bank. 114 pp.
- Beer T, Ziolkowski F (1995) *Environmental Risk Assessment. An Australian Perspective*. Commonwealth Australia. Supervising Scientist. Australia. 125 pp.
- Calderón J, Romieu I, Grimaldo M, Hernández H, Díaz-Barriga F (1995) Endemic fluorosis in San Luis Potosí, México. II. Identification of risk factors associated with occupational exposure to fluoride. *Fluoride*. 28: 203-208.
- Calderón J, Navarro ME, Jiménez-Capdeville ME, Santos-Díaz MA, Golden A, Rodríguez-Leyva I, Borja-Aburto VH, Díaz-Barriga F (2001) Exposure to arsenic and lead and neuropsychological development in Mexican children. *Env. Res.* 85: 69-76.
- Canfield RL, Henderson CR, Cory-Slechta DA, Cox C, Jusko TA, Lanphear BP (2003) Intellectual impairment in children with blood lead concentrations below 10 micrograms per deciliter. *N. Eng. J. Med.* 348: 1517-1526.
- Carrizales L, Razo I, Tellez-Hernández JI, Torres-Nerio R, Torres A, Batres LE, Cubillas AC, Díaz-Barriga F (2006) Exposure to arsenic and lead of children living near a copper-smelter in San Luis Potosí, Mexico: Importance of soil contamination for exposure of children. *Env. Res.* 101: 1-10.
- Cifuentes E, Suárez L, Solano M, Santos R (2002) Diarrheal diseases in children from a water reclamation site in Mexico City. *Env. Health Persp.* 110: 619-624.
- CONAPO (2000) *Índice de Marginación a Nivel de Localidad*. Consejo Nacional de Población. México. www.conapo.gob.mx/
- DGSA (2002) *Primer Diagnóstico Nacional de Salud Ambiental y Ocupacional*. Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS). Dirección General de Salud Ambiental. México. 105 pp.
- Dherani M, Pope D, Mascarenhas M, Smith KR, Weber M, Bruce N (2008) Indoor air pollution from unprocessed solid fuel use and pneumonia risk in children aged under five years: a systematic review and meta-analysis. *Bull. WHO* 86: 390-398.
- Díaz-Barriga F (1996) Los residuos peligrosos en México. Evaluación del riesgo para la salud. *Sal. Públ. Méx.* 38: 280-291.
- Díaz-Barriga F (1999) *Metodología de Identificación y Evaluación de Riesgos para la Salud en Sitios Contaminados*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. OPS/CEPIS/PUB/99.34. WHO. Perú. 96 pp.
- Díaz-Barriga F, Santos MA, Mejía JJ, Batres L, Yáñez L, Carrizales L, Vera E, Del Razo LM, Cebrian ME (1993a) Arsenic and cadmium absorption in children living near a smelter complex in San Luis Potosí, Mexico. *Env. Res.* 62: 242-250.
- Díaz-Barriga F, Santos MA, Yáñez L, Cuéllar JA, Gómez H, García A, Ostrosky-Wegman P, Montero R, Pérez A, Ruíz E (1993b) Biological monitoring of workers at a recently opened hazardous waste disposal site. *J. Exp. Anal. Epidemiol.* 3: 63-71.
- Díaz-Barriga F, Batres L, Calderón J, Lugo A, Galvao L, Lara I, Rizo P, Arroyave ME, McConnell R (1997a) The El Paso smelter twenty years later: residual impact on Mexican children. *Env. Res.* 74: 11-16.
- Díaz-Barriga F, Leyva R, Quistián J, Loyola-Rodríguez JP, Pozos A, Grimaldo M (1997b) Endemic fluorosis in San Luis Potosí, Mexico. IV. Sources of fluoride exposure. *Fluoride* 30: 219-222.
- Díaz-Barriga F, Navarro-Quezada A, Grijalva M, Grimaldo M, Loyola-Rodríguez JP, Ortiz MD (1997c) Endemic fluorosis in México. *Fluoride* 30: 233-239.
- Domínguez G (2009) *Evaluación del Impacto del Fenómeno de Iniquidad Ambiental en la Salud de Poblaciones Infantiles en San Luis Potosí, SLP, México*. Tesis. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. México. 186 pp.
- EPA (1994a) *Field studies for ecological risk assessment*. U.S. Environmental Protection Agency. *ECO Update* 2(3):1-13.
- EPA (1994b) *Selecting and using reference information in superfund ecological risk assessments*. U.S. Environmental Protection Agency. *ECO Update* 2(4):1-6.
- EPA (1998) *Guidelines for Ecological Risk Assessment*. U.S. Environmental Protection Agency. Washington, DC, EEUU. 112 pp.
- EPA (1999) *Screening Level Ecological Risk Assessment Protocol Appendix E: Toxicity Reference Values U.S. EPA Region 6*. Center for Combustion Science and Engineering, Office of Solid Waste. U.S. Environmental Protection Agency. Washington, DC, EEUU. 1137 pp.
- EPA (2004) *Risk Assessment Guidance for Superfund. Volume I-Human Health Evaluation Manual*. U.S. Environmental Protection Agency. Washington, DC, EEUU. www.epa.gov/superfund/index.htm.
- EPA (2006) *A Framework for Assessing Health Risks of Environmental Exposures to Children*. EPA/600/R-05/093F. National Center for Environmental Assessment U.S. Environmental Protection Agency. Washington, DC, EEUU. www.epa.gov/ncea.
- Eyles J, Furgal C (2000) *Indicators in Environmental Health: Identifying and Selecting Common Sets*. Conferencia de Consenso en la Vigilancia de la Salud Ambiental: Acordando Conjuntos Básicos de Indicadores y su Uso Futuro. Québec, 10-12/10/2000. Ottawa, ON, Canadá.
- García-Vargas GG, Rubio-Andrade M, Del Razo LM, Borja-Aburto V, Vera-Aguilar E, Cebrián ME (2001) Lead exposure in children living in a smelter community in region Lagunaera, Mexico. *J. Toxicol. Env. Health.* 62: 417-429.
- Gilbert S, Miller E (2008) Scientific Consensus Statement on Environmental Agents Associated with Neurodevelopmental Disorders. *Collaborative on Health and the Environment's Learning and Developmental Disabilities Initiative* (CHELDDI). July, 2008. www.iceh.org/pdfs/LDDI/LDDIStatement.pdf.
- Gonsebatt ME, Salazar AM, Montero R, Díaz-Barriga F, Yáñez L, Gómez H, Ostrosky-Wegman P (1995) Genotoxic monitoring of workers at a hazardous waste disposal site in Mexico. *Env. Health Persp.* 103: 111-113.
- Grimaldo M, Borja V, Ramírez AL, Ponce M, Rosas M, Díaz-Barriga F (1995) Endemic fluorosis in San Luis Potosí, Mexico. I. Identification of risk factors associated with human exposure to fluoride. *Env. Res.* 68: 25-30.
- Grimaldo M, Turrubiarres F, Milan J, Pozos A, Alfaro C, Díaz-Barriga F (1997) Endemic fluorosis in San Luis Potosí, Mexico. III. Screening for fluoride exposure using a geographic information system. *Fluoride* 30: 33-40.
- Hicks MO, Sanín-Aguirre LH, Díaz-Barriga F, Reza-López SA, Romieu I (2006) Risk assessment in an old lead smelter complex in Chihuahua, Mexico. *Tecnociencia* 1: 26-35.
- IPCC (2007) *Climate Change 2007*. Pachauri RK, Reisinger A (Eds.) *Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Intergovernmental Panel on Climate Change. Ginebra, Suiza. 104 pp.
- IPCS (2006) *Principles for Evaluating Health Risk in Children Associated with Exposure to Chemicals*. International Programme on Chemical Safety. Ginebra, Suiza. 237 pp.
- Jasso-Pineda Y, Espinosa-Reyes G, González-Mille D, Razo-Soto I, Carrizales L, Torres-Dosal A, Mejía-Saavedra J, Monroy M, Irina Ize A, Yarto M, Díaz-Barriga F (2007) An integrated health risk assessment approach to the study of mining sites contaminated with arsenic and lead. *Integr. Env. Assess. Manag.* 3: 344-350.
- Joshaghani HR, Ahmadi AR, Mansourian AR (2007) Effects of occupational exposure in pesticide plant on workers' serum and erythrocyte cholinesterase activity. *Int J Occup Med. Env. Health* 20: 381-385.
- Lee C (2002) Environmental justice: building a unified vision of health and the environmental. *Env. Health Persp.* 110: 141-143.
- Morris K (2004) Silent emergency of poor water and sanitation. *Lancet* 363: 954.
- OMS (2000) *Environmental Health Indicators: Development of a Methodology for the WHO European Region*. (Informe Interino, 18/12/2000). Organización Mundial de la Salud. Biltoven, Países Bajos. 103 pp.
- OMS (2008) *Achieving Health Equity: from root causes to fair outcomes*. Interim Statement. Commission on Social Determinants of Health. Organización Mundial de la Salud. Ginebra, Suiza. 62 pp.
- OPS/OMS (2000) *PAHO/WHO Report of the First Binational Workshop on Environmental Health Indicators*. Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud. Ciudad Juárez, México (6-7/06/2000). 36 pp.

- OPS/OMS (2001) *Encuesta Sobre Salud Ambiental (ESA). Infraestructura y Recursos Humanos de los Estados de la Frontera Norte México*. Oficina de Campo, Frontera México-Estados Unidos. El Paso, Texas, 1999-2000. Organización Panamericana de la Salud. El Paso, Texas, EEUU. 75 pp.
- Ortiz-Pérez D, Rodríguez-Martínez M, Martínez F, Borja-Aburto VH, Castelo J, Grimaldo JI, De la Cruz E, Carrizales L, Díaz-Barriga F (2003) Fluoride-induced disruption of reproductive hormones in men. *Env. Res.* 93: 20-30.
- Ortiz-Pérez MD, Torres-Dosal A, Batres LE, López-Guzmán OD, Grimaldo M., Carranza C, Pérez-Maldonado IN, Martínez F, Pérez-Urizar J, Díaz-Barriga F (2005) Environmental Health Assessment of Deltamethrin in a Malarious Area of Mexico: Environmental Persistence, Toxicokinetics and Genotoxicity in Exposed Children. *Env. Health Persp.* 113: 782-786.
- Pérez-Maldonado IN, Díaz-Barriga F, De la Fuente H, González-Amaro R, Calderón J, Yáñez L (2004) DDT induces apoptosis in human mononuclear cells in vitro and is associated with increased apoptosis in exposed children. *Env. Res.* 94: 38-46.
- Pérez-Maldonado IN, Athanasiadou M, Yáñez L, González-Amaro R, Bergman A, Díaz-Barriga F (2006) DDE-induced apoptosis in children exposed to the DDT metabolite. *Sci. Total Env.* 370: 343-351.
- PNUMA-OPS (2004) *Evaluación Integral de Ambiente y Salud en América Latina y el Caribe*. IEAH/GEO Salud. Sep-2003. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente/Organización Panamericana de la Salud/Fundación Oswaldo Cruz. Brasília, Brasil. 15 pp.
- Prüss-Üstün A, Corvalán C (2006) *Preventing Disease through Healthy Environments. Towards an Estimate of the Environmental Burden of Disease*. World Health Organization. Ginebra, Suiza. 104 pp.
- Razo I, Carrizales L, Castro J, Díaz-Barriga F, Monroy M (2004) Arsenic and heavy metal pollution of soil, water and sediments in a semi-arid climate mining area in Mexico. *Water Air Soil Pollut.* 152: 129-152.
- Riojas-Rodríguez H, Romano-Riquer P, Santos-Burgoa C, Smith KR (2001) Household firewood use and the health of children and women of Indian communities in Chiapas, Mexico. *Int. J. Occup. Env. Health* 7: 44-53.
- Rocha-Amador D, Navarro ME, Carrizales L, Morales R and Calderón J (2007) Decreased intelligence in children and exposure to fluoride and arsenic in drinking water. *Cad. Saúde. Pú. 23*: 579-587.
- Schei MA, Hessen JO, Smith KR, Bruce N, McCracken, López V (2004) Childhood asthma and indoor woodsmoke from cooking in Guatemala. *J. Expos. Anal. Env. Epidemiol.* 14: 110-117.
- Smith KR (2003) Indoor air pollution and acute respiratory infections. *Ind. Pediatr.* 40: 815-819.
- SSA/PRASA (2001) *Programa de Acción en Salud Ambiental*. Plan Nacional de Desarrollo 2000-2006. Secretaría de Salud. México. 210 pp.
- Suter II GW (1993) *Ecological Risk Assessment*. Lewis. Boca Raton, FL, EEUU. 538 pp.
- Torres Dosal A, Pérez-Maldonado IN, Jasso-Pineda Y, Martínez-Salinas RI, Alegría-Torres JA, Díaz-Barriga F (2008) Indoor air pollution in a Mexican indigenous community: Evaluation of risk reduction program using biomarkers of exposure and effect. *Sci. Total Env.* 390: 362-368.
- UNICEF/OMS (2002) *Children in the New Millennium. Environmental Impact on Health*. United Nations Conference on Environmental Program. www.unep.org/ceh/

HEALTH RISK ASSESSMENT METHODOLOGIES FOR THE STUDY OF VULNERABLE COMMUNITIES IN LATIN AMERICA

César A. Ilizaliturri, Donaji González-Mille, Nadia A. Pelallo, Gabriela Domínguez, Jesús Mejía-Saavedra, Arturo Torres Dosal, Iván Pérez-Maldonado, Lilia Batres, Fernando Díaz-Barriga and Guillermo Espinosa-Reyes

SUMMARY

The most commonly used methods for risk assessment are based on environmental analysis and the use of mathematical models for the estimation of exposure. However, the uncertainty of this approach is high, as the models are based on scenarios that may be not the correct ones. In order to decrease the uncertainty, the use of biomarkers has been proposed. Furthermore, considering the complexity of pollution in some sites, these biomarkers can be used both in humans and biota in order to obtain better information for the definition of risks at those sites. In

addition to biomarkers, social, health and environmental indicators have to be applied for risk characterization, as different factors of vulnerability can modify the extent of health risks in some communities. At the end, with environmental monitoring and the use of biomarkers and indicators of vulnerability, health risks in humans and biota (integrated risk assessment) can be assessed in different scenarios. In this paper we present the strategies that our group developed for the study of hazardous waste sites, vulnerable communities and areas impacted by climate change.

REVISÃO DAS METODOLOGIAS SOBRE AVALIAÇÃO DE RISCOS NA SAÚDE PARA O ESTUDO DE COMUNIDADES VULNERÁVEIS NA AMÉRICA LATINA

César A. Ilizaliturri, Donaji González-Mille, Nadia A. Pelallo, Gabriela Domínguez, Jesús Mejía-Saavedra, Arturo Torres Dosal, Iván Pérez-Maldonado, Lilia Batres, Fernando Díaz-Barriga e Guillermo Espinosa-Reyes

RESUMO

Os métodos para avaliar o risco na saúde se baseiam, em geral, no monitoramento ambiental e na estimação da exposição através de modelos matemáticos. A incerteza de tal estratégia é grande. Em consequência, para incrementar a certeza sobre a avaliação da exposição aos contaminantes, tem sido proposta a utilização de biomarcadores. No entanto, a complexidade dos novos cenários de risco obriga a avaliar não somente as populações humanas mas também ao resto da biota. Da mesma forma, fatores ambientais, sociais e de saúde, ao afetar a vulnerabili-

dade, também devem ser considerados para a caracterização do risco. Estes fatores de vulnerabilidade podem avaliar-se através de indicadores. Finalmente, com as análises ambientais, o uso de biomarcadores e o manejo de indicadores ambientais, sociais e de saúde, pode-se avaliar o risco de maneira integrada (humanos e biota). Nesta revisão se apresentam as diversas estratégias empregadas por este grupo de trabalho para avaliar o risco em lugares contaminados, comunidades marginalizadas e em áreas afetadas pela mudança global climática.