

# LA INVESTIGACIÓN COMO INSTRUMENTO INNOVADOR DE LA SANIDAD AMBIENTAL

## *RESEARCH AS AN INNOVATIVE TOOL IN THE FIELD OF ENVIRONMENTAL HEALTH*

Luiz Augusto Cassanha Galvão<sup>a</sup>, Leiliane Coelho André Amorim<sup>b</sup> y

Volney de Magalhães Câmara<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Área de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental. Organización Panamericana de la Salud.

<sup>b</sup>Faculdade de Farmácia. Universidade Federal de Minas Gerais.

<sup>c</sup>Departamento de Medicina Preventiva e Instituto de Estudos em Saúde Coletiva. Universidade Federal do Rio de Janeiro - Investigador financiado por el Conselho Nacional de Desenvolvimento Tecnológico e Científico (CNPq/Brasil).

### RESUMEN

La difusión de resultados de investigaciones muestran que el medio ambiente es un factor que contribuye a la aparición de enfermedades de diversos orígenes y que las situaciones de riesgo son inherentes a los procesos de producción y surgen en distintas etapas: extracción de las materias primas, la producción de los productos, el consumo y los residuos ambientales generados en todo el proceso y causando efectos graves a la salud. En este documento se discuten cuestiones sobre las investigaciones en el campo de la salud ambiental, enfatizando las dificultades metodológicas que encuentran los investigadores en el ámbito de la salud ambiental y la necesidad de un equipo interdisciplinario con un enfoque intersectorial y la participación de los sujetos de la pesquisa. Finalmente, se presentan las contribuciones de las investigaciones en epidemiología, toxicología y evaluación de riesgos.

**PALABRAS CLAVE:** salud ambiental; investigación; toxicología; epidemiología; evaluación de riesgos.

### INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha observado un crecimiento del área de la salud ambiental, manifestado principalmente en la difusión de los resultados de investigaciones que muestran que el medio ambiente es un factor que contribuye a la aparición de enfermedades de diversos orígenes, desde las relacionadas con la calidad del agua para beber o las resultantes de condiciones sanitarias inadecuadas, como las diarreas, hasta otras degenerativas, al principio insidiosas y

### ABSTRACT

Research increasingly demonstrates that the environment is a contributing factor to the emergence of a number of diseases. Environmental risk factors are inherent in the processes of production and arise in different stages including in the extraction of raw materials, in the production of materials, in consumption and as well as in the environmental waste generated in production. All these factors have a serious impact on public health. This article is three-fold, thus, addressing research in the field of environmental health emphasizing prevention and mitigation of exposure to current risk situations in the environment, highlighting the methodological challenges that researchers face in the sphere of environmental health due to an increasing number of variables related to exposure and risk. Finally, the need for an interdisciplinary team utilizing an inter-sectoral approach and the participation of professionals in charge of action research are explored in this article. The contributions of research on Epidemiology, Toxicology, and Risk Assessment are also assessed and discussed.

**Key words:** environmental health; research; toxicology; epidemiology; risk assessment.

crónicas por lo general, muchas de las cuales antes se clasificaban como enfermedades de etiología desconocida<sup>1</sup>.

Las situaciones de riesgo son inherentes a los procesos de producción y surgen en distintas etapas: la extracción de las materias primas que se utilizan para la elaboración de productos, los procesos industriales de fabricación de estos productos, el consumo y los residuos ambientales generados en todo el proceso. Los factores de riesgo pueden ser químicos (según la toxi-

cidad de la sustancia), biológicos (tales como parásitos, virus, bacterias y otros microorganismos), físicos (por ejemplo, la exposición a ruidos excesivos, el malestar térmico, la alteración de la presión, la exposición a radiaciones ionizantes y no ionizantes, la iluminación deficiente o excesiva y las descargas eléctricas), mecánicos o traumáticos (generalmente resultantes de accidentes), ergonómicos (relacionados con la postura en los ambientes de trabajo) y psicosociales. En este marco, el aumento considerable del uso de nuevas sustancias químicas en los procesos productivos y el aún incipiente conocimiento de sus efectos toxicológicos ponen de manifiesto la prioridad que debe darse a la investigación de los efectos de los contaminantes químicos.

Los efectos de estas situaciones de riesgo pueden ser locales (es decir, en el punto de contacto entre el organismo vivo y la sustancia tóxica) o sistémicos (cuando el efecto se produce en un lugar distante del punto de entrada). Pueden afectar al parénquima (hígado, riñones, páncreas), la piel y la mucosa, alterar el crecimiento y el desarrollo, y producir reacciones y alteraciones inmunitarias y endocrinas, efectos neurológicos (del sistema nervioso central y periférico), carcinogenicidad, mutagenicidad (capacidad para inducir cambios o mutaciones en el material genético de las células) y teratogenicidad (es decir, capacidad para producir una malformación en el embrión o feto en desarrollo).

Entre las enfermedades degenerativas en cuya génesis el medio ambiente es un factor decisivo se destaca el cáncer de origen ambiental y ocupacional. El Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (IARC), creado en 1965 por la Asamblea Mundial de la Salud, como entidad independiente financiada en el ámbito de la Organización Mundial de la Salud, lleva a cabo un programa de investigación centrado en la epidemiología del cáncer y el estudio de sustancias cancerígenas que tiene en cuenta la relación entre el ser humano y el ambiente. En los últimos años, los innumerables registros de cáncer han impulsado a muchos investigadores a estudiar la incidencia de esta enfermedad y la mortalidad que ocasiona. De estos estudios surgieron muchas ideas originales y cuestiones importantes, como la comprobación de la existencia de una relación con las condiciones ambientales asociadas a las poblaciones expuestas a agentes químicos<sup>2</sup>.

La valoración de IARC en 1974 sobre la relación entre esa exposición de benceno y el desarrollo de leucemia fue sugerida por varios investigadores en sus informes de estudios; no obstante, solamente en la valoración posterior<sup>3</sup> a partir de una serie de estudios epidemiológicos, tanto de cohortes y caso-control, se estableció una asociación estadísticamente significativa entre leucemia y exposición al benceno y a solventes que

contenían benceno. Esos resultados se replicaron en varios países y en diferentes sectores productivos, y por eso los límites de exposición ocupacional del benceno en los últimos 25 años han sido extensivamente revistos y reducidos.

Entre otros efectos que han causado preocupación a los investigadores del área de la salud ambiental se encuentran los relacionados con los aspectos genéticos. Collins *et al.*<sup>4</sup> describen momentos decisivos de la genética y la genómica, comenzando por el descubrimiento por Gregor Mendel de las leyes de la herencia y su redescubrimiento a principios del siglo XX, el reconocimiento del ADN como mecanismo de determinación hereditaria, incluida la determinación de su estructura, la elucidación del código genético, el desarrollo de técnicas de recombinación del ADN y la determinación de la secuencia del ADN. Estos adelantos posibilitaron la exploración de toda la gama de la salud y la enfermedad a partir de la nueva perspectiva de la ciencia del genoma. Surgió la posibilidad de investigar las implicaciones más amplias de la genómica en todas las áreas de la biología humana y sus relaciones con el medio ambiente. Christiani *et al.*<sup>5</sup> afirman que estos descubrimientos permitieron a los investigadores en el campo de la salud ambiental estudiar la forma en que las características genéticas afectan a la respuesta a la exposición ambiental y comprender las posibilidades que ofrecen las interacciones entre los genes y el ambiente para la prevención y el control de enfermedad de origen ambiental. A pesar de los posibles beneficios, la recopilación y el análisis de información genética en las investigaciones en el campo de la salud ambiental deben ceñirse siempre a los preceptos éticos de la legislación de los países.

Smith y Rappaport<sup>6</sup> señalan varios retos en ese sentido y afirman que, a pesar de treinta años de investigación de los factores genéticos como determinantes de enfermedades, todavía estamos en una etapa embrionaria en lo que se refiere a la relación de los genes con el medio ambiente y la exposición humana a agentes químicos. Sin embargo, la aparición de nuevas técnicas ha posibilitado la realización de muchas investigaciones de aductos del ADN, considerado como un biomarcador "integral", según la dosis y el punto de acción de las sustancias químicas en el organismo.

Para el desarrollo de investigaciones sobre estos efectos a la salud cabe destacar que la salud ambiental no es una disciplina, sino un campo de prácticas generoso en el cual diversas disciplinas y metodologías pueden contribuir al estudio de las relaciones del ambiente con la salud. A continuación se presentan sucintamente algunas contribuciones de la toxicología, la epidemiología y la evaluación de riesgos, selección que refleja solamente la formación profesional de los autores. A título de ejemplo, las ciencias sociales

representan una contribución pertinente en este campo.

## LA CONTRIBUCIÓN DE LA TOXICOLOGÍA

La toxicología es indispensable para los estudios de la contaminación química. La toxicología ambiental y ocupacional procura contribuir por medio de información científica que se analiza en todas sus etapas: la fase de exposición, en la cual el contaminante se encuentra en el ambiente y puede entrar en contacto con el organismo humano a través de diferentes vías de exposición, (disponibilidad química); la fase de toxicocinética, donde ocurren una serie de reacciones químicas después de que el agente químico entra en contacto con el organismo, el cual será absorbido, biotransformado, almacenado y eliminado, representando una disponibilidad biológica; la fase de toxicodinámica, en la cual ocurre una interacción entre el agente químico y los receptores biológicos en el organismo en el que se manifiestan las primeras alteraciones biológicas (bioquímicas, morfológicas o fisiológicas) pudiendo aparecer o no la enfermedad; y, por último, la fase clínica, en la cual se manifiestan los signos y síntomas de la enfermedad.

Otra importante contribución de la toxicología es la valoración constante a la exposición química y los límites considerados seguros, que permite establecer las prioridades y formas de intervención efectiva para proteger una población de los riesgos químicos. Los estudios de los efectos tóxicos de las sustancias permiten evaluar el riesgo de la población y constituye el primer paso en la fijación de normas ambientales. Pero, para ello, es importante conocer la solidez y las limitaciones de los datos toxicológicos asociados a la otra información disponible proveniente de estos estudios<sup>7</sup>.

Para esta contribución de la toxicología son fundamentales las nuevas técnicas y los avances de la toxicología analítica, que permiten detectar concentraciones bajas de agentes tóxicos y que ayudaron a comprender la relación entre las bajas concentraciones de plomo y los efectos adversos precoces de una lesión. Por ejemplo, los estudios que combinaron técnicas de neurofisiología, neuropsicología, toxicología analítica y epidemiología proporcionaron importantes indicios nuevos de los efectos adversos de un bajo nivel de exposición al plomo<sup>8, 9, 10, 11 y 12</sup>.

Un ejemplo de la forma en que la toxicología puede contribuir a la salud pública es la supresión del plomo en la gasolina en los Estados Unidos, que benefició particularmente a los niños. En el 2005, el Centro para el Control de Enfermedades (CDC) de los Estados Unidos señaló en su informe anual sobre la exposición humana a las sustancias químicas que la prevalencia

de niveles elevados de plomo en la sangre, de 10 mg/dl o más, en los niños bajó de 8,6% en el período 1988-1991 a 1,4% en el período 1999-2004, lo cual representa una disminución del 84%. El análisis con múltiples variables reveló que vivir en casas viejas, la pobreza, la edad y ser negro no hispanoamericano aún son factores de riesgo de presentar niveles más elevados de plomo<sup>13,14</sup>.

Actualmente, una nueva dimensión en el campo de la toxicología experimental podrá contribuir de forma significativa a la salud pública en lo que respecta al establecimiento de normas ambientales y ocupacionales. El proyecto TOX21 de NCGC (Institutes of Health Chemical Genomics Center) en Rockville, Maryland, en un laboratorio totalmente automatizado se realiza durante todo el día y la noche la clasificación de productos químicos a una velocidad que ningún equipo de investigadores humanos jamás podría igualar. En una semana, dependiendo de la índole del ensayo, se pueden producir hasta 2.200.000 datos moleculares derivados de millares de sustancias químicas probadas en 15 concentraciones<sup>15</sup>. Una poderosa herramienta utilizando un sistema robótico, que combina una variedad creciente de ensayos *in vitro* y métodos computacionales, está revelando cómo los productos químicos se comunican con los blancos biológicos. Estos estudios se consideran un cambio importante, que va desde la utilización de estudios en animales, para confiar principalmente en resultados de pruebas en bioquímicos o pruebas basadas en interacciones celulares para tomar decisiones de política de salud. Este es un enfoque totalmente diferente, que proporciona un tipo diferente de información. La premisa esencial de este tipo de prueba de toxicidad es que los científicos pueden inferir sobre el efecto nocivo de un agente químico, teniendo por base una cadena de eventos inducidos químicamente, que lleva a un efecto adverso, como un tumor, de donde se obtiene información importante que podrá usarse para el establecimiento de normas o estudios más detallados en animales<sup>15</sup>.

## LA CONTRIBUCIÓN DE LA EPIDEMIOLOGÍA

La contribución de la epidemiología se da a través de su método. Gran parte de la información de que disponen los profesionales del área de la salud ambiental se obtiene por medio de estudios descriptivos y analíticos. Los estudios descriptivos –como su nombre indica– describen la forma en que se producen efectos en la salud, en particular, teniendo en cuenta las variables relacionadas con las personas, el lugar (ambiente) y el tiempo. Los estudios analíticos muestran la relación de causa y efecto entre la exposición a un factor ambiental y la aparición de un determinado efecto en la salud (accidente o enfermedad). Estos últimos comparan la presencia de algún factor en el grupo en estudio y otro grupo lo más semejante posible (grupo de compara-

TABLA 1. Características seleccionadas de los estudios epidemiológicos sobre contaminantes ambientales

Tipos	Ejemplos de diseño de estudio	Factibilidad
<b>Observaciones/Descripciones</b>		
Incidencia	Identificación de la población expuesta a un contaminante ambiental y apoyar a esta población durante un período en el que se registren nuevos casos de intoxicación por el contaminante que se desea estudiar.	Poco factible. Estudio de larga duración no indicado para enfermedades crónicas. Ideal para enfermedades agudas.
Prevalencia	Identificación de la población expuesta a un contaminante ambiental y cálculo inmediato de todos los casos existentes de intoxicación por el contaminante que se desea estudiar.	Muy factible. Estudio rápido e indicado para enfermedades crónicas.
<b>Observaciones / Asociación entre variables</b>		
Ecológico	Correlación entre registros de una determinada patología con registros de niveles de exposición a un contaminante ambiental por un período de tiempo.	Muy poco factible por la ausencia de registros.
Seccional	Formar un grupo de personas expuestas (censo o una muestra) al factor ambiental (grupo de estudio) y otro grupo de personas no expuestas (grupo de comparación). Seguidamente comparar la prevalencia de los efectos entre los dos grupos.	Muy factible por ser de corta duración, está indicado para efectos crónicos.
<b>Observaciones / Comparaciones / Evidencia de causa</b>		
Grupo	Inicialmente formar dos grupos, Estudio y Comparación (igual a los estudios seccionales), y después comparar la incidencia/mortalidad de los efectos entre los dos grupos en un determinado período.	Poco factible. Larga duración, indicado para efectos agudos y poblaciones estables.
Grupo histórico	A través de información de registro, los grupos de expuestos (estudio) y no expuestos (comparación) son formados en un determinado momento del pasado. Seguidamente se comparan las incidencias/mortalidades del efecto a ser estudiado entre los dos grupos desde el pasado hasta el presente.	Muy poco factible por la ausencia de registros.
Caso control	Se forma un grupo de personas que presentan los efectos que se desean estudiar (Grupo de Estudio) y otro grupo semejante, que no presenta este efecto (Comparación). El segundo paso es comparar, seguidamente, la proporción de personas expuestas en el pasado entre los dos grupos.	Factible por ser de corta duración. Ideal para enfermedades de baja prevalencia. Necesita de registros confiables de efecto.
<b>Intervención</b>		
Experimental	Ejemplo: Seleccionar grupo de personas que sufrirán un determinado tipo de intervención, por ejemplo, o uso de medicamento a ser experimentado o equipo de protección (grupo de estudio), e un grupo semejante, sin la intervención (comparación). Apoyar por un período de tiempo para comparar la incidencia de los efectos entre los dos grupos.	Poco factible debido a asuntos éticos. Ideal para evaluar el impacto de nuevos medicamentos, tecnologías, metodologías, etc.

Fuente: Adaptado de Cámara<sup>16</sup>

ción). Si la diferencia observada por medio de pruebas estadísticas es significativa (con una probabilidad de error pequeña), puede existir la relación causal estudiada<sup>16</sup>.

En la tabla 1 se describen los principales estudios epidemiológicos que pueden utilizarse en el campo de la salud ambiental en cuatro categorías: estudios descriptivos basados en la observación (por ejemplo, estudios de incidencia y prevalencia); estudios basados en la observación en los cuales se investiga la relación entre variables (tales como los estudios ecológicos y seccionales que muchos autores consideran analíticos, aunque sea difícil determinar si la exposición se produjo antes de la aparición del efecto); estudios analíticos en los que se puede investigar la prueba de causalidad (como los estudios de cohortes,

cohortes históricas y casos y testigos); y, por último, estudios experimentales o basados en intervenciones.

Desde un punto de vista histórico, el ambiente fue el aspecto más destacado del estudio más importante en el campo de la epidemiología: la investigación realizada por John Snow durante una epidemia de cólera en Londres, que lo llevó a plantear que esta enfermedad se transmitía por medio del agua potable<sup>17</sup>. Al observar en un mapa de Londres, donde un brote ocurrido poco antes había matado a más de 500 personas en un período de 10 días, la ubicación de las casas de los que habían muerto, Snow notó que todas las defunciones se habían producido en una zona llamada Golden Square y que la principal diferencia entre este barrio y el resto de Londres era la fuente de agua potable<sup>17</sup>. Esto es un



ejemplo representativo de la investigación como motor impulsor de grandes adelantos en el ámbito de la salud, al estimular la capacidad intelectual y creadora.

## LA CONTRIBUCIÓN DE LAS EVALUACIONES DEL RIESGO

Uno de los métodos que pueden utilizarse para evaluar el riesgo fue creado por la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades<sup>18</sup> (ATSDR). En pocas palabras, esta evaluación abarca información ambiental pertinente, datos sobre los efectos en la salud y las preocupaciones de las comunidades en relación con los lugares donde se habían vertido sustancias peligrosas. Al final, recomienda medidas de salud pública para los grupos, tanto de habitantes como de trabajadores, que han estado expuestos en las áreas contaminadas por residuos peligrosos.

La epidemiología también puede evaluar el riesgo, generalmente por medio de los estudios analíticos antedichos en los cuales se compara un suceso en dos grupos según su exposición o la presencia de efectos adversos en la salud. El Organismo para la Protección del Medio Ambiente (EPA), de los Estados Unidos, elaboró otro tipo de evaluación que caracteriza la índole de los riesgos para la salud pública ocasionados por la exposición a sustancias peligrosas con los siguientes componentes: detección del peligro, evaluación de la respuesta a la dosis, evaluación de la exposición y caracterización del riesgo. Con este método se obtiene una estimación numérica de las consecuencias para la salud pública.

En los Estados Unidos y en los países de América Latina se prioriza la evaluación del riesgo con el método de la ATSDR, que se basa en información tanto cuantitativa como cualitativa, ya que incluye métodos para evaluar las preocupaciones de la comunidad, al mismo tiempo que analiza datos ambientales y sobre los efectos en la salud. Este método incluye una guía que debe ser utilizada por un equipo multidisciplinario formado por profesionales de las áreas de la salud, el medio ambiente y las ciencias humanas y que abarca las siguientes etapas<sup>18</sup>:

- Evaluación de la información sobre el lugar: en esta etapa se examinan los antecedentes y la situación actual del lugar, así como las preocupaciones de la comunidad con respecto a su salud. Incluye, entre otras cosas, información sobre los antecedentes de la contaminación, información básica, las preocupaciones de la comunidad con respecto a su salud, aspectos demográficos, uso del suelo y de los recursos naturales, contaminación ambiental y datos sobre los efectos en la salud.
- Respuesta a las preocupaciones de la comunidad: se obtiene información sobre las preocupaciones de la comunidad con respecto a su salud y los métodos

para responder a estas preocupaciones (indicación de los miembros de la comunidad interesados, participación de la comunidad en la evaluación de la salud desde la fase inicial del proceso, garantía de la comunicación con la comunidad y otros grupos interesados por medio de actividades, solicitud de comentarios de la comunidad sobre la evaluación final de la salud y respuesta a los mismos).

- Selección de los contaminantes de interés: en esta etapa se seleccionan los contaminantes de interés sobre la base de un examen de la concentración de los contaminantes presentes en el lugar, la calidad de los datos de la muestra ambiental y el potencial de exposición humana. Los datos obtenidos en esta etapa abarcan los contaminantes encontrados dentro y fuera del lugar, la concentración de contaminantes en el medio ambiente, los niveles de referencia, la calidad de los datos de muestreo y las técnicas analíticas, una comparación con las guías para la evaluación del medio ambiente y un inventario de las emisiones o perfiles toxicológicos de la ATSDR.
- Determinación y evaluación de las vías de exposición: se detectan cada uno de los cinco elementos de una vía de exposición y se determina si estos elementos están relacionados entre sí. Los elementos son las fuentes de contaminación, el medio ambiente y los mecanismos de transporte, los puntos de exposición, las vías de exposición y la población receptora.
- Repercusiones para la salud pública: se determina la relación entre el potencial de exposición humana que tiene el lugar y los efectos en la salud que pueden producirse en estas condiciones específicas. Los datos que se manejan consisten en estimaciones de la exposición, una comparación de las estimaciones de la exposición con las directrices sanitarias, la determinación de los efectos en la salud relacionados con la exposición, la evaluación de los factores que influyen en los efectos adversos en la salud y la determinación de las implicaciones para la salud de los peligros físicos y de otros tipos.
- Conclusiones y recomendaciones: se formulan recomendaciones y se definen las siguientes categorías de riesgo: *a*) peligro urgente para la salud pública, *b*) peligro para la salud pública, *c*) peligro indeterminado para la salud pública, *d*) peligro no aparente para la salud pública y *e*) no hay peligro para la salud pública.

## CONSIDERACIONES SOBRE LAS INVESTIGACIONES EN EL CAMPO DE LA SALUD AMBIENTAL

En resumen, para prevenir y mitigar la exposición a las situaciones de riesgo presentes en el medio ambiente es necesario señalar los riesgos que pueden causar una enfermedad, analizar el riesgo para la salud de la población expuesta y aplicar políticas de intervención. Según las ideas de Kuhn<sup>19</sup> sobre la estructura de la in-

vestigación, las crisis son condiciones necesarias para los grandes descubrimientos científicos, además de la naturaleza y la necesidad de la revolución científica frente a los nuevos paradigmas y el cambio en el modo de ver el mundo. Trasladando el foco de atención de lo cognoscitivo a las funciones normativas de los paradigmas, el investigador se siente tentado a exclamar ante los cambios de paradigmas que el propio mundo cambia con ellos y, atraído por lo “nuevo”, adopta instrumentos y una óptica nuevos en lugares diferentes, haciendo que todo este proceso se vuelva innovador.

Al mismo tiempo, los grandes cambios ambientales ocasionados por los procesos de producción y consumo y sus efectos en la salud humana imponen la necesidad de un enfoque científico integrado y participativo que conduzca de manera efectiva a cambios en la sociedad y en las políticas públicas. Las dificultades que encuentran los investigadores en el ámbito de la salud ambiental consisten particularmente en el gran número de variables que deben tenerse en cuenta en las investigaciones. En lo que se refiere a la contaminación química, Tambellini y Câmara<sup>20</sup> señalan ejemplos de categorías de variables relacionadas con la exposición a contaminantes ambientales y sus efectos:

- Relacionadas con los contaminantes: tipo, fuente, concentración, lugar, estado físico, capacidad de volatilización, olor, distribución, cinética ambiental, dispersión, tipo de solubilidad, transformación (biodegradabilidad, sedimentación, acción de microorganismos, adsorción a partículas, interacción con otras sustancias, persistencia ambiental, vías de absorción, distribución, biotransformación, oxidación, reducción, hidrólisis, acetilación, metilación, conjugación), acumulación, tiempo de latencia, vías de eliminación, tipos de efectos adversos, etc.
- Relacionadas con la exposición: sexo, edad, susceptibilidad individual, grupos especiales, estado nutricional, raza, escolaridad, características socioeconómicas, ocupación, hábitos de consumo, costumbres, enfermedad previa, etc.
- Relacionadas con el medio ambiente: características hidrográficas, geológicas, topográficas y meteorológicas, aspectos fisicoquímicos de los compartimientos ambientales, temperatura, vientos, humedad, permeabilidad de los suelos, drenaje, concentración demográfica, vegetación, aguas superficiales y profundas, etc.
- Relacionadas con la infraestructura disponible: recursos humanos, equipo, servicios de laboratorio, programas de prevención y control, programas de rehabilitación, seguridad social, etc.

El análisis de este gran número de variables muestra que es fundamental que la investigación y la elaboración de medidas de prevención y control en el ámbito de la salud ambiental se basen en un equipo interdisciplinario con un enfoque intersectorial y fomenten la participación de los sujetos de la investigación y la acción.

La investigación puede reflejar una acumulación social que es utilizada por los propios actores cuando el conocimiento y los resultados de un estudio están disponibles en una acción estratégica basada en el principio ecosistémico. En los últimos años se observó la evolución de proyectos de investigación que tenían como supuesto básico la participación activa de las comunidades frente a los problemas ambientales que afectan a las condiciones de vida y de salud. Esas investigaciones permitieron concebir una práctica que promueve una alianza activa y la igualdad entre los miembros de una comunidad y los académicos<sup>21</sup>.

Esta construcción colectiva de datos e información, en la cual los actores sociales participan de una forma más significativa en la demanda científica y también en las decisiones, constituye la base de los estudios que privilegian un enfoque ecosistémico. Freitas *et al.*<sup>22</sup> describen dos vertientes situadas en la base de los estudios que abordan el enfoque ecosistémico. La primera se centra en la indicación y medición de los signos y síntomas de alteraciones de los ecosistemas y de su potencial actual o futuro para la salud humana, con el propósito de facilitar la adopción de decisiones y el manejo de la información científica<sup>23,24</sup>. La segunda se apoya en la adopción de enfoques contextualizados y participativos para la comprensión y la búsqueda de estrategias a fin de manejar las alteraciones del ecosistema en determinados lugares y su impacto en la salud de la población<sup>25,26</sup>.

Otro aspecto pertinente de las investigaciones está relacionado con el principio de la precaución. Este principio puede definirse como una nueva orientación que se está incluyendo en medida creciente en la legislación de los países y en tratados internacionales como base adecuada para las decisiones en materia ambiental, con el fin de proteger la salud humana y el medio ambiente<sup>27</sup>. La esencia del principio de la precaución es que la sociedad no debe esperar hasta que sepa todas las respuestas para tratar de protegerse de daños importantes. El principio fue descrito sucintamente en 1992 en la Declaración de Río<sup>28</sup>.

Goldstein<sup>27</sup> examina cuestiones relacionadas con el antagonismo de este principio con la investigación científica. Su frustración justificada con la lentitud del proceso científico, la fragilidad de la metodología científica y la incertidumbre de las evaluaciones del riesgo son argumentos a favor de la realización de más investigaciones antes de iniciar una intervención.

En este terreno complicado y controvertido es útil analizar la metodología científica y buscar formas en que, sin comprometer la integridad y la objetividad, la investigación pueda ser más o menos útil para aquellos que actúen con precaución. Varios investigadores han incorporado los argumentos de que un cambio de política con más precaución crea oportunidades y desafíos

que llevan a los científicos a pensar de manera diferente sobre la orientación de los estudios y a comunicar los resultados<sup>29</sup>.

Las decisiones que se adoptan en circunstancias de beneficios inciertos y grandes costos deben estar seguidas de investigaciones para determinar si la acción de hecho es eficaz en relación con la “amenaza de daños serios o irreversibles” que llevó a su adopción<sup>27</sup>. Esto constituye un movimiento responsable de aquellos que ven la acción precautoria como una oportunidad para que la investigación disminuya la incertidumbre con respecto a las causas ambientales y los efectos.

También cabe considerar el movimiento de la justicia ambiental como una herramienta importante para las conquistas de la investigación en el campo de la salud ambiental. Los estudios de los efectos de la degradación y contaminación del medio ambiente en la salud de poblaciones de bajos ingresos en todo el mundo han contribuido en medida creciente a la lucha por la justicia ambiental. Estos estudios han puesto de manifiesto una carga desproporcionada y flagrante de disparidades relacionadas con la salud, la raza, la etnia y la clase social. La acción en pro de la justicia en el ámbito de la salud ambiental cuenta con la participación efectiva de comunidades y grupos sociales<sup>30</sup>.

## CONSIDERACIONES FINALES

Delante de los modelos actuales de desarrollo económico y tecnológico asociado a los medios de producción y consumo, la necesidad más crítica es la valoración continua y el aumento del nivel de conocimiento de la magnitud de los contaminantes químicos presentes en el ambiente y el impacto en la salud de la población expuesta. A pesar de observarse, en diversos países, el deterioro de algunos contaminantes, a partir de convenciones internacionales, leyes ambientales y políticas de desarrollo urbano saludables, aún es incierto el impacto de innumerables exposiciones químicas en la salud humana con perspectivas futuras.

Asociados a eso identificamos factores que apuntan a algunos desafíos, como carácter estacional, exposición múltiple por diferentes puertas de entrada del agente químico en el organismo (aire, agua, suelo, alimento), además de la complejidad de los eventos biológicos que pueden presentar un amplio intervalo entre la exposición y la manifestación del efecto en la salud. Es fundamental el desarrollo de estrategias apropiadas en lo que refiere al financiamiento de investigaciones y acciones gubernamentales de prevención y promoción de la salud asociados a los factores ambientales, a partir de un conjunto de acciones multidisciplinarias que consigan abordar todo el espectro de la relación hombre-ambiente.

## REFERENCIAS

1. Tambellini AT, Miranda AC, Santos EC, Carneiro F, Franco Netto G, Castro H, Cancio J, Finkelman J, Escamilla J, Amorim LC, Moraes LRS, Augusto LG, Gouveia N, Rigotto R, Lieber RR, Blank V, Câmara VM, Waissmann W. Subsídios ao plano diretor de Saúde e Ambiente no âmbito do Sistema Único de Saúde. *Cad. Saúde Colet* 2005; 13(1):295-316.
2. IARC. International Agency for Research on Cancer. 2009. Disponible en <http://www.iarc.fr/en/research-groups/sec1/index.php>.
3. IARC. International Agency for Research on Cancer. – Summaries and Evaluations. Benzene. Vol 29, 1982. p.93.
4. Collins FS, Green ED, Guttmacher AE, Guyer MS. A vision for the future of genomics research. *Nature* 2003; 422:835-47.
5. Christiani DC, Sharp RR, Collman GW, Suk WA. Applying Genomic Technologies in Environmental Health Research: Challenges and Opportunities. *J. Occup. Environ. Med* 2001; 43(6):526-33.
6. Smith MT, Rappaport SM. Building exposure biologic centers to put the E into “G x E” interaction studies. *Environ Health Perspect* 2009; 117(8):A334-5.
7. Amorim LCA. Os biomarcadores e sua aplicação na avaliação da exposição aos agentes químicos ambientais. *Rev. Bras. Epidemiol* 2003; 6(2):158-70.
8. Freedman R, Olson L, Hoffer BJ. Toxic Effects of Lead on Neuronal Development and Function. *Environ Health Perspect* 1990; 89:27-33.
9. Burchfiel J, Duffy F, Bartels PH, Needleman HL. Combined discriminating power of quantitative electroencephalography and neuropsychologic measures in evaluating CNS effects of lead at low levels. In: Needleman HL Editors. *Low Level Lead Exposure: The Clinical Implications of Current Research*. New York: Raven Press; 1980. p. 75-89.
10. Needleman HL. Lead and neuropsychological deficit: finding a threshold. In Needleman HL: *Low Level Lead Exposure: The Clinical Implications of Current Research*. New York: Raven Press; 1980. p. 43-51.
11. Needleman HL, Gunnoe C, Leviton A, Leed R, Peresie H, Maher C, Barrett, P. Deficits in psychologic and classroom performance of children with elevated dentine lead levels. *N. Engl. J. Med* 1979; 300:689-95.
12. Sobotka TJ, Brodie RE, Cook MP. Psychophysiologic effects of early lead exposure. *Toxicology* 1975; 5:75-91.
13. Center for Disease Control and Prevention. National Report on Human Exposure to Environmental Chemicals (Third Report). 2005. Disponible en: <http://www.cdc.gov/exposurereport/metals2.htm>.
14. Pirkle JL, Osterloh J, Needham LL, Sampson EJ. National exposure measurements for decisions to protect public health from environmental exposure. *Int. J. Hyg. Environ. Health* 2005; 208 (1-2):1-5.
15. Barret JR. TOX21. New dimensions of toxicity testing. *Environ Health Perspect* 2009; 117(8):349-57.
16. Câmara VM. Epidemiologia e Ambiente. In: Medronho R (ed.): *Epidemiologia*. São Paulo: Atheneu; 2002. p. 371-83.
17. Howard B, Russel M, Vinten-Johansen P, Paneth N, Rachman S. Map-making and myth-making in Broad Street: the London cholera epidemic, 1854. *The Lancet* 2000; 356(9223):64-8.
18. ATSDR. Public Health Assessment Guidance Manual. Atlanta, Georgia: Agency for Toxic Substances and Dis-

- ases Registry. U.S. Department of Health and Human Services; 1992.
19. Kuhn, T. *The structure of scientific revolutions*. Chicago: University of Chicago Press; 1962.
  20. Tambellini AT, Câmara VM. A temática saúde e ambiente no processo de desenvolvimento do campo da saúde coletiva: aspectos históricos, conceituais e metodológicos. *Ciênc. Saúde Coletiva* 1998; 3 (2):47-59.
  21. O'Fallon LR, Deary A. Community-Based Participatory Research as a tool to advanced environmental health sciences. *Environ Health Perspect* 2002; 110:155-9.
  22. Freitas CM, Oliveira SG, Schutz GE, Freitas MB, Campolino MPG. Ecosystem approaches and health in Latin America. *Cad. Saúde Pública* 2007; 23 (2):283-96.
  23. Jorgensen SE, Xu F-L, Salas F, Marques JC. Application of indicators for Ecosystem Health Assessment. In: Jorgensen SE, Costanza R, Xu F-L, editors. *Handbook of ecological indicators for assessment of ecosystem health*. London: CRC Press; 2005. p. 5-65.
  24. Aron JL, Patz JA. *Ecosystem change and public health – a global perspective*. Baltimore: John Hopkins University Press; 2001.
  25. Kay JJ, Regier HA, Boyle M, Francis G. An ecosystem approach for sustainability: addressing the challenge of complexity. *Futures* 1999; 31:721-42.
  26. Waltner-Toews D. *Ecosystem sustainability and health – a practical approach*. Cambridge: Cambridge University Press; 2004.
  27. Goldstein BD. The Precautionary Principle and Scientific Research Are Not Antithetical. *Environ Health Perspect* 1999; 107(12):A594-595. Perspectives Editorial.
  28. United Nations Conference on Environment and Development. *Earth Summit. Rio Declaration on Environment and Development*, Rio de Janeiro, Brazil. United Nations publication No. E.73.11Publ no.E.73.11.A.14. Stockholm: United Nations, Publication; 1992.
  29. Kriebel D, Tickner J, Epstein P, Lemons J, Levins R, Loechler El, Quinn M, Rudel R, Schettler T, et al. The Precautionary Principle in Environmental Science. *Environ Health Perspect* 2001; 109(9):871-6.
  30. Shepard, PM, Northridge ME, Prakash S, Stover G. Preface: Advancing Environmental Justice through Community-Based Participatory Research. *Environ Health Perspect* 2002; 110 (2):139-40.