

APLICACIONES PARTICULARES DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE RIESGO A LA SALUD POR LA PRESENCIA DE SUSTANCIAS EN AGUA

PARTICULAR APPLICATIONS OF THE HEALTH RISK ASSESSMENT METHODOLOGY DUE TO THE PRESENCE OF SUBSTANCES IN WATER

Natalia Othax ⁽¹⁾, Fabio Peluso ⁽²⁾, Ignacio Masson ⁽³⁾ y José Gonzalez Castelain ⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Instituto de Hidrología de Llanuras “Dr. Eduardo J. Usunoff”. Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CICPBA), Azul, Argentina.

e-mail: nothax@ihlla.org.ar. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8443-6116>

⁽²⁾ Instituto de Hidrología de Llanuras “Dr. Eduardo J. Usunoff”. Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CICPBA), Azul, Argentina.

e-mail: fpeluso@ihlla.org.ar. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2560-2396>

⁽³⁾ Instituto de Hidrología de Llanuras “Dr. Eduardo J. Usunoff”. Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CICPBA), Azul, Argentina.

e-mail: imasson@ihlla.org.ar. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5333-0439>

⁽⁴⁾ Instituto de Hidrología de Llanuras “Dr. Eduardo J. Usunoff”. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNCPBA), Azul, Argentina.

e-mail: josegc@ihlla.org.ar. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3964-5506>

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue realizar un análisis de estudios cuantitativos de riesgo a la salud asociados a sustancias presentes en el agua, con relación a su representación espacial, integración de distintos escenarios de exposición y estimaciones de riesgos a la salud en áreas ambientales críticas. Se analizaron diferentes aplicaciones de la metodología de evaluación de riesgos a la salud de USEPA, implementadas en la provincia de Buenos Aires, Argentina. A partir de la realización del estudio se observó que estas herramientas presentan importantes potencialidades, más allá de ciertas limitaciones. Las evaluaciones de riesgo espacializadas, al estimar el riesgo basándose en información de exposición distribuida en el espacio, permiten ofrecer un panorama más completo y realista. Además, la combinación de diferentes escenarios de exposición, como los residenciales y escolares, brinda una visión más integral de los riesgos para la salud. En el caso de la cuenca del río Matanza-Riachuelo, se han evaluado riesgos asociados a contaminantes como cromo y nitrato, lo que facilita la priorización de riesgos en contextos críticos y contribuye a la toma de decisiones informadas.

Palabras clave: Evaluación de Riesgo Espacializado, Integración de Escenarios, Priorización de Riesgos.

ABSTRACT

The objective of this work was to carry out an analysis of quantitative studies of health risks associated with substances present in water, in relation to their spatial representation, integration of different exposure scenarios and estimates of health risks in critical environmental areas. Different applications of the USEPA health risk assessment methodology, implemented in the province of Buenos Aires, Argentina, were analyzed. From the study, it was observed that these tools have important potential, beyond certain limitations. Spatialized risk assessments, by estimating risk based on exposure information distributed in space, allow a more complete and realistic overview to be offered. In addition, the combination of different exposure scenarios, such as residential and school scenarios, provides a more comprehensive view of health risks. In the case of the Matanza-Riachuelo river basin, risks associated with contaminants such as chromium and nitrate have been evaluated, which facilitates the prioritization of risks in critical contexts and contributes to informed decision-making.

Keywords: Space Risk Assessment, Scenario Integration, Risk Prioritization.

INTRODUCCIÓN

La afectación de la calidad de los recursos hídricos representa un desafío ambiental creciente que impacta tanto en la salud pública como en los ecosistemas. Este problema tiene múltiples orígenes, que incluyen tanto actividades humanas como procesos naturales.

A la contaminación de origen agrícola se suman otras fuentes como son los vertidos domésticos e industriales propios de los centros urbanos y sus alrededores. Aunque la forma de presión antrópica más reconocida sobre los recursos hídricos es por vertidos desde cañerías (efluentes industriales, cloacales, etc.), cada vez adquieren mayor importancia las fuentes que se denominan difusas, es decir, no puntuales, donde pueden incluirse no sólo las que provienen de suelos sobre los que se aplican agroquímicos, sino también rellenos sanitarios o vertederos de basura domiciliaria, etc. Todas estas fuentes pueden deteriorar la calidad de las aguas, sean subterráneas o superficiales, por ejemplo, por acción de la escorrentía superficial que arrastra los contaminantes hasta los cuerpos de agua (Peluso et al., 30 de agosto de 2016).

En el Instituto de Hidrología de Llanuras (IHLLA), y desde el área hidroambiental, se vienen desarrollando líneas de investigación las cuales tienen que ver, principalmente, con la generación de herramientas de evaluación de la calidad del agua,

tanto en los aspectos fisicoquímicos como ecológicos y toxicológicos, para aguas superficiales y subterráneas.

Particularmente, se han desarrollado herramientas basadas en análisis de riesgo. Uno de estos instrumentos son los análisis o estudios de riesgo. Estos son herramientas para la toma de decisiones que estiman el potencial de peligro para un “receptor” (sea un humano, un organismo en particular, o un grupo biológico) de producirse el contacto (la exposición) con una sustancia química (o a un agente físico o biológico) presente en el ambiente. En función de la estimación del nivel del peligro de producirse ese contacto luego puede inferirse la calidad del agua (o del aire, o del suelo) donde está presente esa sustancia (IHLLA, s.f.).

El paradigma básico de la evaluación de riesgo se compone de cuatro elementos: identificación del peligro, evaluación de la dosis - respuesta, evaluación de exposición y caracterización de riesgo (National Research Council, 1983). Un esquema del mismo se presenta en la Figura 1. Este método es utilizado en organismos ambientales de otros países, tal es el ejemplo de la Agencia de Protección Ambiental de EE. UU. (U.S. Environmental Protection Agency, [USEPA]), para caracterizar la naturaleza y la magnitud de los riesgos a la salud de los humanos debido a contaminantes químicos y otros factores de estrés que podrían estar presentes en el ambiente (USEPA, 2024a).

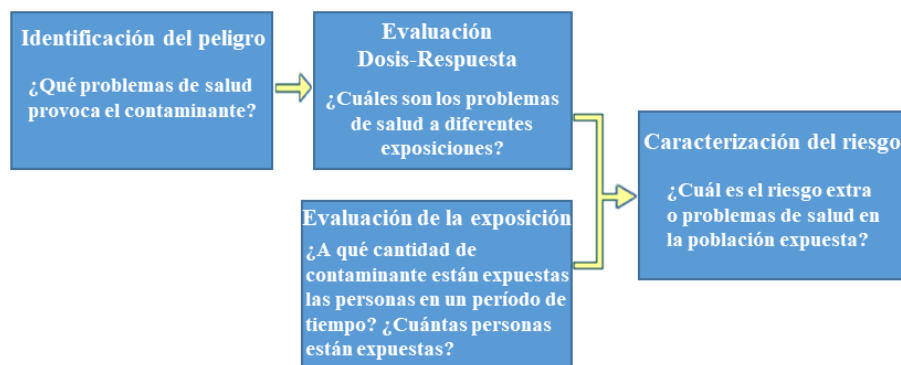


Figura 1. Paradigma de la evaluación de riesgos. Fuente: Adaptado de USEPA (2024b).

Asimismo, a lo largo del tiempo, este método ha sido aplicado en la literatura científica en recursos hídricos superficiales y subterráneos, a partir de diversas sustancias presentes en el ambiente que pueden afectar la calidad del agua y, por ende a la población expuesta (Giri y Singh, 2015; Lu et al., 2015; Chen et al., 2017; Zhao et al., 2020; Jiménez-

Oyola et al., 2021; Khan et al., 2021; Wang et al., 2022, entre otros).

Sin embargo, al igual que cualquier herramienta metodológica, las evaluaciones de riesgo para la salud asociadas a los recursos hídricos presentan tanto potencialidades como limitaciones. Esto las convierte

en instrumentos valiosos, aunque también enfrentan desafíos y son sensibles a contextos específicos. Por este motivo, se propone analizar, desde este enfoque, algunos trabajos desarrollados en el IHLLA a partir de estudios de caso en localidades bonaerenses.

OBJETIVOS

El objetivo es realizar un análisis de estudios cuantitativos de riesgo a la salud en relación con sustancias presentes en el agua. El análisis se centrará en estudios que abordan: a) la evaluación de riesgos y su representación espacial, b) integración de distintos escenarios de exposición y c) estimaciones de riesgos a la salud en áreas

ambientales críticas. El estudio se centrará en el análisis de potencialidades y limitaciones inherentes a estas aplicaciones, con el fin de proporcionar una mayor comprensión sobre la herramienta en los estudios de la calidad de recursos hídricos.

METODOLOGÍA

Área de estudio

Se analizaron aplicaciones de estudios de riesgo a la salud asociados a sustancias presentes en recursos hídricos de las siguientes ciudades: Azul, Tres Arroyos y Esteban Echeverría, provincia de Buenos Aires, Argentina (Figura 2).

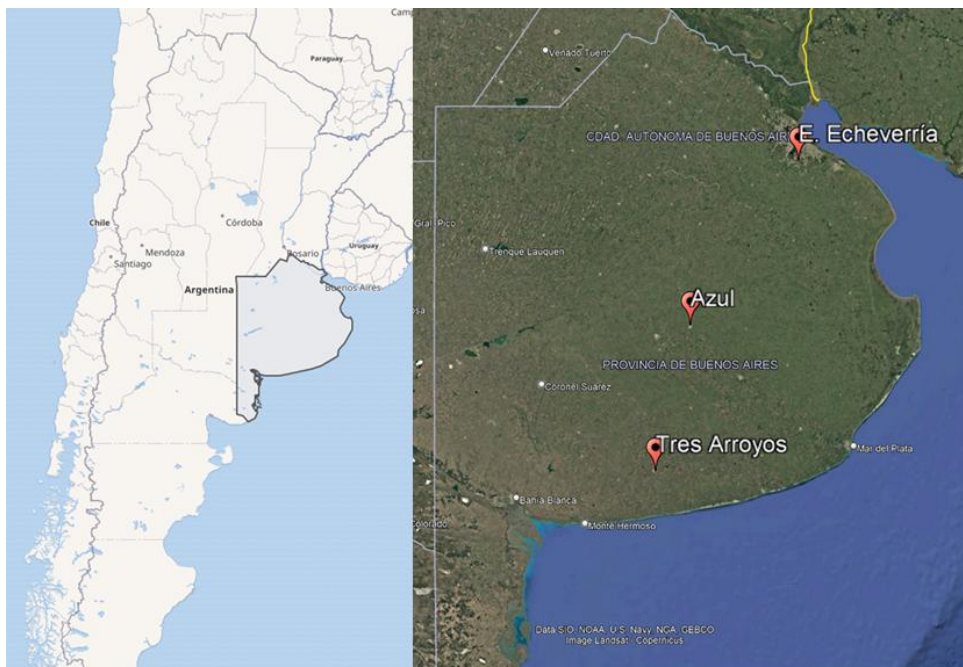


Figura 2. Ubicación de las localidades en donde se desarrollaron los estudios.

La ciudad de Azul se encuentra ubicada en la zona centro de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. Es la ciudad cabecera del partido homónimo, que cuenta con una población de alrededor de 75000 habitantes. Se desarrollan actividades en parte relacionadas con la producción agropecuaria y la industria tiene un desarrollo exiguo, sufriendo el cierre de varios establecimientos en la década del '90.

La ciudad de Tres Arroyos se ubica al sudeste de la provincia de Buenos Aires. Es la ciudad cabecera del mismo partido, que cuenta con una población de

72000 habitantes aproximadamente y se caracteriza por su actividad agrícola ganadera e industrial.

La cuenca del río Matanza-Riachuelo (CRMAR) está ubicada al noreste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. La cuenca tiene una población que supera los cuatro millones, distribuida en 15 jurisdicciones administrativas. El desarrollo industrial no controlado acompañado de un crecimiento poblacional desmedido ha llevado a una proliferación de asentamientos urbanos marginales. El área de estudio correspondió a uno de esos asentamientos, ubicados

en el sector medio de la cuenca en el norte de la jurisdicción de Esteban Echeverría.

Modelo cuantitativo de riesgo a la salud

El riesgo fue estimado a partir de la aplicación del modelo básico de Análisis de Riesgo a la Salud según USEPA de modo probabilístico con CrystalBall 11.1 mediante Monte Carlo (MC). El cálculo del riesgo se realizó a partir de la exposición crónica a las sustancias en el agua utilizando los modelos cuantitativos de acuerdo a USEPA (1992, 2004) presentados en las ecuaciones (1) y (2).

$$ADDI = \frac{[C * Ir * EF * ED]}{[Bw * AT]} \quad (1)$$

$$ADDC = \frac{[C * SA * Kp * ET * EF * ED * FC]}{[Bw * AT]} \quad (2)$$

siendo:

ADDI = Dosis Diaria Promedio por Ingesta (en mg/kg/día)

ADDC = Dosis Diaria Promedio por Contacto Directo (en mg/kg/día)

C = Concentración de la sustancia peligrosa en el agua (en mg/l)

Ir = Tasa de ingesta diaria del agua (en l/día)

ET = Duración diaria del evento de exposición (en h/día)

EF = Frecuencia de la exposición (en días/año)

ED = Duración de la exposición (en años)

Bw = Peso corporal de la persona expuesta (en kg)

AT = Factores de corrección por tiempo promedio (duración estadística de la vida humana * 365 días)

SA = Extensión de la superficie de contacto entre la piel y el agua (en cm²)

Kp= Coeficiente de permeabilidad dérmica de la sustancia (en cm/h)

FC = Factor de corrección de unidades de superficie y volumen.

El valor de riesgo no cancerígeno (RNC) y cancerígeno (RC) se obtuvo a partir de las ADD dividiéndola y multiplicándola respectivamente por el valor referencial toxicológico para cada tipo de efecto para cada sustancia (USEPA, 1989).

El riesgo se estimó probabilísticamente aplicando MC para 5000 iteraciones en base a las distribuciones probabilísticas de cada variable de las ecuaciones (1) y (2). Si bien la mayoría de éstas son tratadas probabilísticamente, otras son determinísticas. En los casos en que se debieron realizar adiciones (para estimar el riesgo agregado, acumulativo e integrado), estas se realizaron iteración por iteración. De las distribuciones de valores de P resultantes en cada caso, se extrajeron los valores promedio, desvío estándar, máximo y percentilo 95 (P95) como estadísticos representativos del riesgo sanitario para facilitar el análisis. Todos los cálculos se realizaron con CrystalBall v.7.1 (Decisioneering, 2007).

Aspectos metodológicos de las distintas aplicaciones

En este apartado se presentan detalles metodológicos en las diferentes aplicaciones analizadas. En la Figura 3 se presentan imágenes del relevamiento de datos en las distintas aplicaciones.



Figura 3. Imágenes tomadas durante el relevamiento de datos (izquierda a derecha): encuesta a residentes de la ciudad de Azul y pozos someros muestreados, toma de muestra de agua subterránea en la ciudad de Tres Arroyos y muestreo de agua subterránea en E. Echeverría.

Evaluaciones de riesgo a la salud y su representación espacial

El estudio se llevó a cabo bajo un escenario residencial para niños de 15 años y para adultos, el cual en este caso se refiere al contacto con el agua vía la ingesta demandada por las actividades vitales del individuo. Se realizó a partir de la concentración [C de la ecuación (1)] de fluoruros presente en agua proveniente de muestreo de pozos someros distribuidos en diferentes puntos de la ciudad Azul y su interpolación espacial utilizando ArcView. El parámetro de tasa de ingesta de agua [I_r de la ecuación (1)] se obtuvo a partir de información local de los seis barrios obtenida mediante encuestas llevadas a cabo por muestreo aleatorio estratificado.

Los modelos de cada variable interviniente y los estadísticos descriptores están referenciados en Othax y Peluso (17 al 20 de septiembre de 2013). En el mismo, se consideró la variabilidad espacial de las concentraciones y los patrones de ingesta de agua representativos por barrios, en un Sistema de Información Geográfico Urbano.

Escenarios de exposición combinados

El riesgo se estimó a partir del análisis de dos escenarios de exposición a las sustancias fluoruros, nitratos y arsénico en el agua: el residencial y el escolar de la ciudad de Tres Arroyos. Se calculó para tres tipos de individuos expuestos (de 5, 10 y 15 años) como representativos de la parte de la población más sensible de la ciudad de Tres Arroyos. El escenario residencial consideró al contacto con el agua vía la ingesta demandada por las actividades vitales del individuo y por el contacto dérmico que ocurre durante un baño con fines higiénicos. El escenario residencial se basó en las concentraciones de las tres sustancias en pozos someros, distribuidos en diferentes puntos de la ciudad. El escenario escolar consideró la ingesta de agua que se realiza durante el horario escolar. Las concentraciones de las sustancias en este escenario corresponden a las de un pozo somero situado en el predio de una escuela peri-urbana, que es utilizado para consumo. Los modelos de cada variable interviniente y los estadísticos descriptores están referenciados en Othax et al. (2014).

Tanto para el escenario residencial como para el escolar se calculó el riesgo por sustancia individual, agregado (involucrando vías de exposición) y acumulativo (por las tres sustancias

simultáneamente). Luego se calculó el riesgo integrado, que implicó el cálculo simultáneo del riesgo para ambos escenarios. Para ello se empleó también un modelo aditivo y se conformó un Índice de Riesgo (USEPA, 2003).

Estimaciones de riesgos a la salud en áreas ambientales críticas

Se estudió un escenario residencial, (considerando las vías de exposición mencionadas en el caso anterior) a partir de la presencia de cromo [Cr(VI)] y nitratos para niños de 10 años y para adultos.

Se recolectaron muestras de agua subterránea de pozos de monitoreo y de pozos de suministro privados del Acuífero Puelche (profundidad de pozo de 40 m) y del Acuífero Superior (profundidad de pozo de 15 a 20 m). Los modelos de cada variable interviniente y los estadísticos descriptores están referenciados en Ceballos et al. (2021).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluaciones de riesgo a la salud y su representación espacial

Las evaluaciones de riesgo, según su representación espacial, pueden clasificarse en puntuales o espaciales. Las evaluaciones de riesgos a la salud puntuales se enfocan en la identificación, caracterización y estimación de los riesgos asociados a contaminantes en ubicaciones específicas. En la literatura, es común encontrar numerosos estudios realizados utilizando esta metodología, para el caso específico en que la fuente generadora de riesgo se asocia a los recursos hídricos.

Con posterioridad, han surgido evaluaciones de riesgos espaciales centradas en la identificación, caracterización y estimaciones de riesgos asociados a contaminantes, analizando su distribución en el espacio. Ello ha implicado el desarrollo de investigaciones de riesgo espacialmente distribuido utilizando para ello un Sistema de Información Geográfica (SIG), asociándolos a modelos de transporte para evaluar exposiciones variables en el tiempo, creando y aplicando modelos matemáticos, digitales, o directamente tipos de software específico. Esto incluye análisis de la información geoespacial relacionada con los recursos hídricos, por ejemplo, a partir de técnicas de interpolación

espacial de concentraciones de sustancias en aguas subterráneas.

Se presenta el caso del trabajo *Evaluación del riesgo por fluoruros en agua subterránea somera a partir de la ingesta local en Azul, Buenos Aires, Argentina* (Othax y Peluso, 17 al 20 de septiembre de 2013). El riesgo se estimó espacialmente, para lo cual no sólo se tuvo en consideración la variabilidad espacial de las concentraciones de fluoruros, sino también los patrones de ingesta de agua de bebida representativos por barrios. Específicamente, el desarrollo del trabajo se realizó estimando las dosis de exposición a partir de valores locales de tasas de ingesta de agua relevados mediante encuestas, lo que permitió discriminar espacialmente esta variable en lugar de utilizar valores de bibliografía homogéneos a toda el área de estudio.

Los resultados indicaron que en el 58% del área de estudio, conformada por seis barrios de la ciudad de Azul, Argentina (Club de Remo, Güemes, Monte Vigiano, Del Carmen, San Francisco y Villa Giamátolo), las concentraciones de fluoruros en aguas subterráneas someras alcanzaron o superaron el valor límite establecido por la normativa para la evaluación de la calidad del agua destinada al consumo humano. No obstante, los valores de riesgo resultaron no significativos ($R < 1$), incluso para los niños, considerados la población expuesta más vulnerable.

El trabajo presentó elementos que continúan siendo novedosos para Argentina, ya que si bien surgieron algunos estudios posteriores sobre patrones de ingesta de agua de la población (Carmuega, 2015) no son frecuentes los relevamientos de la heterogeneidad espacial de patrones de conducta relacionados con la ingesta de agua.

Esto no solo permitió un mayor realismo en la cuantificación local del riesgo, sino también reconocer que la utilización de valores de la bibliografía en trabajos anteriores produjo una sobreestimación del riesgo.

Por lo tanto, pueden mencionarse oportunidades y limitaciones de ambos tipos de herramientas. La evaluación de riesgo puntual no requiere de recursos para la espacialización de datos, ya sea en términos de información, conocimientos, métodos o software específico. Esta característica de simplicidad es

especialmente valiosa en las etapas iniciales del proceso de toma de decisiones, ya que facilita la identificación de sitios potencialmente riesgosos sin necesidad de contar con recursos técnicos más complejos. Por lo tanto, puede constituir una herramienta expeditiva en contextos de toma de decisiones donde los recursos son limitados.

La evaluación de riesgo espacializada, si bien demanda conocimientos, información y uso de herramientas de análisis geoespacial, permite integrar múltiples variables, lo que facilita la identificación de patrones y relaciones entre ellas.

Escenarios de exposición combinados

La evaluación de riesgo a la salud es un proceso que permite estimar el riesgo asociado a la exposición a sustancias presentes en los recursos hídricos en diversos contextos. Por ejemplo, una persona puede estar expuesta a contaminantes en su hogar a través del agua de consumo, mientras que también puede estar expuesta en actividades recreativas, como bañarse o nadar en un cuerpo de agua. Estos diferentes tipos de exposición se conocen como escenarios residenciales, recreativos, laborales, entre otros.

Además de evaluar el riesgo en contextos específicos, puede ser relevante considerar la combinación de diferentes escenarios de exposición. Desde el IHLLA, se han realizado algunos estudios que abordan escenarios de exposición, particularmente en contextos residenciales y recreativos (Othax, 2013; Peluso et al., 2012; 2016). Los escenarios residenciales y escolares adquieren especial relevancia debido a que son entornos donde la exposición puede ser más constante, afectando principalmente a poblaciones vulnerables como los niños, quienes presentan una mayor sensibilidad a los contaminantes ambientales.

Se presenta como ejemplo el artículo *Riesgo a la salud integrado por fluoruros, nitratos y arsénico en agua subterránea: caso del Partido de Tres Arroyos, Argentina* (Othax et al., 2014). En el análisis se integraron escenarios de tipo residencial con escolar, sobre la base de la exposición por la ingesta y por el contacto dérmico con el agua.

En el mismo se ha observado que un componente importante del valor del riesgo integrado

(escolar+residencial) corresponde al riesgo por el escenario escolar. La causa de ello radica en que las concentraciones de las sustancias peligrosas (arsénico y fluoruros) tienden a incrementarse hacia el sur de la ciudad, justamente donde está ubicada la escuela adoptada como caso testigo. En el escenario escolar, cuando las concentraciones de sustancias peligrosas en el agua son equivalentes a las del entorno residencial, la contribución al riesgo integrado es inferior al 20%. Sin embargo, este riesgo aumenta si las concentraciones en el agua del escenario residencial disminuyen. Se observó que la situación de mayor riesgo corresponde al individuo más joven que reside cerca de la escuela analizada, alcanzando valores de riesgo integrado superiores al 200% en comparación con el promedio de todos los pozos. Esto se debe, en gran medida, al impacto significativo del riesgo asociado al entorno residencial.

En este estudio, como ocurre en numerosos casos similares, algunos de los parámetros de exposición si bien pueden provenir de datos de bibliografía referente en la temática, suelen no provenir de datos locales. Por lo tanto, es necesario considerar las incertidumbres asociadas a esta limitación. No obstante, la combinación de distintos escenarios permitió alcanzar una evaluación más realista y una comprensión más integral de los riesgos potenciales para la salud.

Estimaciones de riesgos a la salud en áreas ambientales críticas

Las estimaciones de riesgo se han constituido en herramientas para evaluar peligros y apoyar la toma de decisiones en diversos contextos. Su relevancia adquiere una dimensión más relevante aun en áreas ambientales críticas, donde la gravedad y la complejidad de los problemas plantean desafíos significativos, en muchos casos vinculados con los recursos hídricos.

Un ejemplo de esta situación se encuentra en la CRMR, Argentina. Esta región enfrenta uno de los desafíos ambientales más visibles del país, con altos niveles de contaminación orgánica procedente de la descarga de residuos cloacales sin tratamiento y de compuestos químicos tóxicos, tales como hidrocarburos y metales pesados, que provienen de industrias petroquímicas, curtiembres y frigoríficos (Pasqualini et al., 2019).

Más recientemente, desde el IHLLA, y en interacción con integrantes de áreas hidrogeológicas e hidrogeoquímicas, se avanzó en un trabajo en conjunto en un área específica de la CRMR. Particularmente, se realizó un estudio para determinar el riesgo potencial que representan los contaminantes cromo y nitrato para la salud humana (Ceballos et al., 2021). El área de estudio correspondió a una urbanización emergente en el sector medio de la cuenca, en el norte del partido de Esteban Echeverría, y la misma incluye un sector donde se vertían residuos de una industria química abandonada.

Los resultados indicaron que se presentaron valores no significativos de riesgo por la exposición a nitratos en agua subterránea, y los valores de riesgo por cromo aguas abajo del vertedero de residuos presentaron valores más altos, siendo mayores aún en el acuífero más profundo.

Esta cuestión adquiere mayor relevancia aún al considerar las condiciones de vulnerabilidad de la población residente, las cuales limitan su capacidad para implementar soluciones o medidas paliativas ante esta problemática.

Al igual que en el caso anterior, es necesario considerar las incertidumbres derivadas de las estimaciones basadas en datos no locales de ciertos parámetros de exposición. No obstante, esto facilitaría el avance hacia la realización de evaluaciones de riesgo más detalladas que justifiquen las medidas a adoptar.

CONCLUSIONES

Las evaluaciones de riesgo a la salud son fundamentales para la gestión de contaminantes en los recursos hídricos, y su análisis revela varias conclusiones clave.

Las evaluaciones de riesgo especializadas, que emplean herramientas como los SIG pueden proporcionar un panorama más completo y realista al posibilitar utilizar datos de exposición espaciales y locales. Como resultado, se ofrece un panorama más completo y detallado del riesgo, pudiendo contribuir en mayor medida en etapas avanzadas de la evaluación, así como en la toma de decisiones y en la gestión de riesgos.

Además, es importante la posibilidad de integración de diversos escenarios de exposición, como los residenciales y escolares, ya que estos pueden ser en general constantes durante el año y, en consecuencia, aumentar el riesgo, especialmente para las poblaciones vulnerables. Esta consideración es crucial para entender de manera integral cómo las diferentes dinámicas de exposición afectan la salud pública.

Por otro lado, en áreas ambientales críticas, como la cuenca del río Matanza-Riachuelo, las evaluaciones de riesgo son fundamentales para abordar problemas de contaminación severa y priorizar acciones de mitigación. En conjunto, estos enfoques permiten una comprensión más integral de los riesgos potenciales y son cruciales para el desarrollo de estrategias efectivas de gestión de riesgos.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a las instituciones de dependencia del IHLLA: Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CICPBA), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), y Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNCPBA).

REFERENCIAS

- Carmuega, E. (2015). *Hidratación saludable*. Centro de Estudios sobre Nutrición Infantil. <https://cesni-biblioteca.org/wp-content/uploads/2018/09/HidratacionSaludable.pdf>
- Ceballos, E., Dubny, S., Othax, N., Zabala, M. E. y Peluso, F. (2021). Assessment of human health risk of chromium and nitrate pollution in groundwater and soil of the Matanza-Riachuelo River Basin, Argentina. *Exposure and Health*, 13(3), 323-336. <https://doi.org/10.1007/s12403-021-00386-9>
- Chen, J., Wu, H., Qian, H. y Gao, Y. (2017). Assessing nitrate and fluoride contaminants in drinking water and their health risk of rural residents living in a semiarid region of Northwest China. *Exposure and Health*, 9, 183-195. <https://doi.org/10.1007/s12403-016-0231-9>
- Decisioneering (2007). Crystal Ball Academic Edition v7.0. Decisioneering, Inc. <https://dssresources.com/vendorlist/vendorselect.php?n=7>
- Giri, S. y Singh, A. K. (2015). Human health risk assessment via drinking water pathway due to metal contamination in the groundwater of Subarnarekha River Basin, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187, 63. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4265-4>
- Instituto de Hidrología de Llanuras (s.f.). *Herramientas de evaluación de la calidad del agua según usos*. <https://ihlla.conicet.gov.ar/area-hidroambiental/>
- Jiménez-Oyola, S., Escobar Segovia, K., García-Martínez, M. J., Ortega, M., Bolonio, D., García-Garizabal, I. y Salgado, B. (2021). Human health risk assessment for exposure to potentially toxic elements in polluted rivers in the Ecuadorian Amazon. *Water*, 13(5), 613. <https://doi.org/10.3390/w13050613>
- Khan, R., Saxena, A., Shukla, S., Sekar, S., Senapathi, V. y Wu, J. (2021). Environmental contamination by heavy metals and associated human health risk assessment: a case study of surface water in Gomti River Basin, India. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, pp. 56105–56116. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14592-0>
- Lu, S. Y., Zhang, H. M., Sojinu, S. O., Liu, G. H., Zhang, J. Q. y Ni, H. G. (2015). Trace elements contamination and human health risk assessment in drinking water from Shenzhen, China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187, 1-8. <https://doi.org/10.1007/s10661-014-4220-9>
- National Research Council (1983). *Risk Assessment in the Federal Government: Managing the Process*. National Research Council. National Academic Press, Washington DC, USA. <https://doi.org/10.17226/366>
- Othax N. (2013). *Análisis del riesgo sanitario por contaminantes presentes en los recursos hídricos de las ciudades de Azul y de Tres Arroyos*. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Luján.
- Othax, N. y Peluso, F. (17 al 20 de septiembre de 2013). *Evaluación del riesgo por fluoruros en agua subterránea somera a partir de la ingesta local en Azul, Buenos Aires, Argentina*. VIII Congreso Argentino de Hidrogeología y VI Seminario Latinoamericano sobre Temas Actuales de la Hidrología Subterránea, La Plata. https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/104077/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Othax, N., Peluso, F. y Gonzalez Castelain, J. (2014). Riesgo a la salud integrado por fluoruros, nitratos y arsénico en agua subterránea: caso del partido de Tres Arroyos, Argentina. *Revista*

- Internacional de Contaminación Ambiental*, 30(1), pp. 27-41. <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/29876>
- Pasqualini, M. F., Montania, E. F., Hepp, Y., Antolini, L., Finkelstein, J. Z. y García, S. I. (2019). Mapa de riesgo sanitario ambiental de la Cuenca-Matanza Riachuelo (Argentina). Una metodología para priorizar intervenciones. *Revista de Salud Ambiental*, 19(2), 148-158. <https://ojs.diffundit.com/index.php/rsa/article/view/955>
- Peluso, F., Gonzalez Castelain, J., Rodríguez, L. y Othax, N. (2012). Assessment of the chemical quality of recreational bathing water in Argentina by health risk analysis. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal* 18(6), 1186-1215. <http://dx.doi.org/10.1080/10807039.2012.722801>
- Peluso, F., Gonzalez Castelain J., Dubny S., Othax N., Masson I. (30 de agosto de 2016). *El estudio de la calidad del agua superficial*. UNICEN. <https://www.unicen.edu.ar/content/el-estudio-de-la-calidad-del-agua-superficial>
- Peluso, F., Masson, I., Gonzalez Castelain, J., Othax, N. y Dubny, S. (2016). Uncertainties in age- and gender-based health risk assessment for recreational bathing: arsenic in Del Azul Stream, Argentina. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal* 22(3), 753-774. <https://doi.org/10.1080/10807039.2015.1107468>
- United States Environmental Protection Agency (1989). *Risk Assessment Guidance for Superfund. Volume 1: Human Health Evaluation Manual*. EPA/540/1-89/002. Washington DC, USA. https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-09/documents/rags_a.pdf
- United States Environmental Protection Agency (1992). *Guidelines for exposure assessment*. EPA/600/Z-92/001. Federal Register 57(104): 22888-938. https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-11/documents/guidelines_exp_assessment.pdf
- United States Environmental Protection Agency. (2003). *Framework for cumulative risk assessment*. EPA/630/P-02/001F. Risk Assessment Forum, United States Environmental Protection Agency. Washington DC. 129 p. https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-11/documents/frmwrk_cum_risk_assmnt.pdf
- United States Environmental Protection Agency. (2004). *Risk Assessment Guidance for Superfund Volume 1: Human Health Evaluation Manual (Part E, Supplemental Guidance for Dermal Risk Assessment)*. EPA/540/R/99/005. Washington, DC, USA. 156 p. https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-09/documents/part_e_final_revision_10-03-07.pdf
- United States Environmental Protection Agency. (2024a). *Métodos, modelos, herramientas y base de datos*. Recuperado el 9 de diciembre de 2024. <https://espanol.epa.gov/espanol/metodos-modelos-herramientas-y-base-de-datos#eval>
- United States Environmental Protection Agency. (2024b). *Conducting a Human Health Risk Assessment*. Recuperado el 9 de diciembre de 2024. <https://www.epa.gov/risk/conducting-human-health-risk-assessment>
- Wang, Y., Xin, C., Yu, S., Xie, Y., Zhang, W. y Fu, R. (2022). Health risk assessment based on source identification of heavy metal (loid)s: a case study of surface water in the Lijiang river, China. *Toxics*, 10(12), 726. <https://doi.org/10.3390/toxics10120726>
- Zhao, L., Gong, D., Zhao, W., Lin, L., Yang, W., Guo, W., Tang, X. y Li, Q. (2020). Spatial-temporal distribution characteristics and health risk assessment of heavy metals in surface water of the Three Gorges Reservoir, China. *Science of the Total Environment*, 704, 134883. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134883>

Tipo de Publicación: ARTÍCULO

Trabajo recibido el 20/12/2024, aprobado para su publicación el 20/01/2025 y publicado el 17/02/2025.

COMO CITAR

Othax, N., Peluso, F., Masson I. y Gonzalez Castelain, J. (2025). Aplicaciones particulares de la metodología de evaluación de riesgo a la salud por la presencia de sustancias en agua. *Cuadernos del CURIHAM, Edición Especial (2024): 40 Años del IHLLA*. e08. <https://doi.org/10.35305/curiham.ed24.e08>

ROLES DE AUTORÍA

NO abordó el proceso de investigación, análisis, conceptualización, concepción de la idea del artículo y redactó la primera versión. FP contribuyó en el diseño del estudio, en la preparación, creación y redacción del trabajo. NO, FP, IM y JGC completaron en conjunto la preparación y redacción

del trabajo, aprobaron la versión para ser publicada y son capaces de responder respecto a todos los aspectos del manuscrito.

Este trabajo se enmarca dentro de la EDICIÓN ESPECIAL (2024): 40 años del Instituto de Hidrología de Llanuras "Dr. Eduardo Jorge Usunoff" (IHLLA), de la revista Cuadernos del CURIHAM.

LICENCIA

Este es un artículo de acceso abierto bajo licencia: Creative Commons Atribución -No Comercial -Compartir Igual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>)

