



United States
Environmental Protection
Agency

EPA/600/R-25/107 | septiembre de 2025 | www.epa.gov/research



Bahía Las Mareas: Evaluación de riesgo para la salud humana

Resumen ejecutivo

La comunidad de la Laguna de las Mareas (Bahía de Las Mareas, Puerto de Las Mareas o Las Mareas) en Guayama, Puerto Rico, expresó preocupaciones sobre la salud vinculadas al impacto de las actividades industriales, como el carbón y los residuos de la combustión del carbón, que potencialmente se liberan en la Bahía de Las Mareas, en relación con la recreación (por ejemplo, nadar, jugar en la playa, bañarse) y el consumo de pescado de la Bahía de Las Mareas. Se debe destacar que la Bahía de Las Mareas está rodeada por una variedad de actividades industriales, como se discute en la **sección 3.2, Descripción del sitio** y se muestra en la **figura 1, Bahía Las Mareas y actividades industriales cercanas**. Además, como se muestra en la **figura 2**, hay muchas fuentes potenciales de contaminantes ambientales en la Bahía de Las Mareas, y por lo tanto se ha visto expuesta a una variedad de posibles contaminantes de actividades pasadas y presentes. La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) realizó una evaluación de riesgo para la salud humana (HHRA, por sus siglas en inglés) para estimar las posibles exposiciones y los riesgos que enfrentan las personas que realizan actividades recreativas y consumen pescado de la Bahía de Las Mareas. Para completar la HHRA, se usó un proceso de cuatro pasos, mostrado en la **figura ES-1**, siguiendo los métodos estándar de la EPA. Los resultados del HHRA identifican riesgos de cáncer y peligros para la salud no relacionados con el cáncer a partir de las exposiciones identificadas.

Concentraciones de medios ambientales y de exposición

- ¿Cuáles son los posibles contaminantes que preocupan?
- ¿Cuál es la naturaleza y el alcance de la contaminación?

Evaluación de exposición

- ¿Cuales son las poblaciones expuestas?
- ¿De qué manera se exponen?

Evaluación de toxicidad

- ¿Cuáles son los valores de toxicidad de cada contaminante?
- ¿A qué cantidad de contaminantes están expuestas las personas?

Caracterización de los riesgos

- ¿Cuáles son los riesgos de cáncer y no cancerígenos para las poblaciones expuestas?

Figura ES-1. Para completar el HHRA, se usó un proceso de cuatro pasos basado en los métodos de la EPA.

El HHRA tiene como objetivo ser una herramienta para ayudar en el proceso de toma de decisiones al proporcionar una evaluación del posible riesgo y peligro para la salud humana. La EPA utiliza la evaluación de riesgos para brindar información que permita tomar decisiones y caracterizar los riesgos de cáncer y los peligros no cancerígenos asociados con posibles exposiciones. Esta evaluación no se realizó conforme a un programa regulatorio específico; más bien, este documento proporciona cálculos de riesgos a cáncer y peligros de otro tipo no cancerígenos para diversos receptores (por ejemplo, adultos y niños que participan en actividades recreativas). Las comparaciones presentadas en este documento brindan contexto al lector sobre la importancia de los riesgos relacionados con el cáncer y los peligros no relacionados con el cáncer, y no están diseñadas para informar decisiones conforme a un programa regulatorio específico. La EPA analizará los resultados y compartirá la información con la comunidad.

Las vías de exposición ambiental (ej. agua, arena, sedimento, etc.) **y las concentraciones de contaminantes disponibles en estas vías a la que las personas pueden estar expuestas** se determinaron mediante una combinación de revisión de documentos, reuniones con la comunidad para entender sus preocupaciones y conocer el lugar, y la toma de muestras de campo. En 2023, la EPA se reunió con la comunidad para ayudar a definir el alcance del proyecto, documentar cómo las personas realizan actividades recreativas en la Bahía de Las Mareas e identificar qué tipo de peces se capturan habitualmente en la bahía para el consumo humano. Luego, el equipo de la EPA identificó las ubicaciones para recolectar agua superficial, arena, sedimento y peces, con el fin de determinar la naturaleza y la extensión de la contaminación en esos medios en la Bahía de Las Mareas y en una ubicación de referencia fuera de la influencia prevista de las fuentes de emisión química cerca de la Bahía de Las Mareas. El lugar de referencia sirve como punto base para comparar los hallazgos. Más adelante, se agregó un segundo lugar de referencia debido a problemas técnicos con la primera ubicación de referencia en relación con algunos medios (por ejemplo, arena, sedimento, agua superficial, peces).

La figura ES-2 muestra las tres ubicaciones de muestreo (Bahía de Las Mareas y los dos lugares de referencia) en relación entre sí. El primer lugar de referencia, Tropical Beach (en Naguabo), está aproximadamente 30 millas al noreste y en contra del viento de la Bahía de Las Mareas. Aunque se tomaron 10 muestras de arena de la playa en este lugar de referencia, debido a dificultades imprevistas asociadas con el acceso de la carretera en que se remolcaba el bote hacia este sitio, no se pudieron tomar muestras de agua superficial, sedimento y peces en esta ubicación. Playa Arenas (en Salinas), que está aproximadamente a 7 millas al oeste de la Bahía de Las Mareas y no tiene actividad industrial de gran escala, fue seleccionada como segundo lugar de referencia para tomar muestras de agua superficial, sedimento y peces, así como muestras adicionales de arena. Playa Arenas tiene varias ensenadas en comparación con Tropical Beach, que tiene una costa de arena continua más extensa. La sección 2 presenta detalles sobre la metodología de recolección de muestras y los resultados.



Figura ES-2. Se tomaron muestras de aguas superficial, arena, sedimento y peces en 2024 en la Bahía de Las Mareas. Se tomaron muestras de arena en Tropical Beach. Dada la poca profundidad y la imposibilidad de navegar en las aguas de Tropical Beach, se tomaron muestras de agua superficial, sedimento y peces en Playa Arenas, junto con otras muestras de arena. Fuente: Google Maps.

Se analizaron muestras de agua superficial, arena y sedimento para detectar componentes inorgánicos y orgánicos. Para esta HHRA, el equipo de la EPA analizó 34 sustancias químicas de potencial preocupación, incluyendo 14 metales, mercurio y 19 sustancias químicas orgánicas (18 hidrocarburos aromáticos policíclicos y sulfolano, un disolvente usado en el refinamiento de petróleo). Los metales incluían antimonio, arsénico, bario, berilio, boro, cadmio, cromo total, cobalto, plomo, litio, mercurio, molibdeno, radio, selenio, plata y talio. Estas sustancias químicas fueron seleccionadas para el análisis porque están asociadas a residuos de la combustión de carbón y otras operaciones industriales en el área.

Se identificaron ocho especies de peces que cubren los tipos de pescado que son consumidos por la comunidad de la Bahía Las Mareas y se analizaron en relación a las mismas 34 sustancias químicas de potencial preocupación de las muestras de agua superficial, arena y sedimentos. El análisis de las muestras de pescado incluyó la especiación de arsénico (total e inorgánico) y mercurio (total y metilmercurio) para reflejar mejor las formas de mayor preocupación en tejido de peces (arsénico inorgánico y metilmercurio). A principios de 2024, la comunidad identificó seis especies de pescado ante el personal de la EPA que eran de consumo habitual, lo que ayudó al equipo de la EPA a desarrollar la lista de especies de peces de interés y el protocolo para la toma de muestras. Las seis especies que la comunidad identificó incluyen el arrayado (*Lutjanus synagris*), la sama (*Lutjanus analis*), la sardina o arenque escamado (especies no identificadas), la colirubia (*Ocyurus chrysurus*), la sierra (*Scomberomorus maculatus*), y piscardo transparente/anchoa de caleta (especies no identificadas). El personal de la EPA añadió dos especies adicionales de peces que se encontraron en los mercados locales — la cojinúa (*Caranx cryos*) y el casabe (*Chloroscombrus chrysurus*) — a la lista de especies de interés.

En general, el riesgo de exposición y la bioacumulación de sustancias químicas en el tejido de los peces varía considerablemente entre las diferentes especies y entornos. La variedad de especies recolectadas para este HHRA ofrece una representación razonable de los riesgos de exposición a contaminantes en toda la red alimentaria porque estas tienen hábitos de alimentación superpuestos. Por ejemplo, algunas especies se alimentan del zooplancton en la columna de agua, otras se alimentan en el fondo del mar y otras se alimentan en condiciones pelágicas en aguas abiertas.

Resultados de las muestras de agua. Las concentraciones en la Bahía de Las Mareas y el lugar de referencia se compararon con los Estándares de Calidad de Agua de Puerto Rico para aguas costeras y estuarinas (designadas en los estándares como aguas de “Clase SB”) cuando estos estándares se basaron en criterios de valoración para la salud humana.

De las 34 sustancias químicas analizadas, se detectaron los mismos 9 metales en ambos lugares: arsénico, bario, boro, cromo, plomo, litio, mercurio, molibdeno y talio. Se detectó cromo y talio a concentraciones más altas en la Bahía de Las Mareas en comparación con los niveles detectados en los lugares de referencia.

Las concentraciones en la Bahía de Las Mareas también se compararon con los Estándares de calidad de agua de Puerto Rico para aguas costeras y estuarinas (Clase SB), tal como se muestra en la **tabla ES-1**. Los estándares basados en la salud humana solo están disponibles para tres de las sustancias inorgánicas evaluadas (antimonio, mercurio y talio). No se reportaron valores de concentración de antimonio en el agua superficial para la Bahía de Las Mareas ni el lugar de referencia, pero se detectaron y reportaron para mercurio y talio en concentraciones que exceden el estándar de calidad de agua para aguas costeras y estuarinas en ambos lugares.

Tabla ES-1. Concentraciones de muestras de agua en comparación con los Estándares de calidad de agua de Puerto Rico para aguas costeras y estuarinas en función de los efectos sobre la salud humana (todos los valores en µg/l)

Sustancia química	PR WQC para aguas de Clase SB	Bahía de Las Mareas			Antecedentes		
		Frecuencia de detección	Concentración del percentil 50	Concentración del percentil 95	Frecuencia de detección Frecuencia	Concentración del percentil 50	Concentración del percentil 95
Antimonio	640	No informado*					
Mercurio	0.051	4 de 10 muestras	0.1**	0.41	5 de 10 muestras	0.16	0.68
Talio	0.47	2 de 10 muestras	0.5**	1.5	1 de 10 muestras	0.5**	0.95

* El informe del laboratorio no incluyó resultados para antimonio en agua.

** El valor representa la mitad del límite de detección para informar (RDL). Cada valor de no detección fue sustituido por la mitad del RDL para la muestra antes de calcular las estadísticas del percentil. Un componente con menos del 50 % de las detecciones puede tener un valor de la mitad del RDL para el percentil 50, pero un valor medido para el percentil 95.

Resultados de muestras de arena y sedimento. Las concentraciones en arena y sedimento en la Bahía de Las Mareas y los lugares de referencia se compararon con los Niveles de Detección Regionales (RSL, por sus siglas en inglés) en el suelo residencial. Los RSLs son concentraciones derivadas de ecuaciones estandarizadas que combinan presunciones sobre los niveles posibles de exposición con datos de toxicidad proporcionados por la EPA. Las tablas de RSL ofrecen concentraciones para consumo o ingestión, exposición dérmica o a través de la piel, e inhalación, que se prevé que generan un riesgo de cáncer de 1E-06 (o uno en un millón) o un coeficiente de peligro (HQ) no relacionado con cáncer de 1. Los RSL son considerados por la EPA como factores de protección de las personas (incluso de grupos vulnerables) durante toda la vida; no obstante, los RSL no siempre se pueden aplicar a un lugar en particular. Los RSL del suelo estuvieron disponibles para siete sustancias químicas (arsénico, boro, cromo, cobalto, litio, molibdeno y plata).

De las 34 sustancias químicas analizadas, 8 se detectaron: arsénico, boro, cromo, cobalto (excepto en sedimento secundario), plomo, litio (solo sedimento), molibdeno (excepto en la arena de la Bahía de Las Mareas) y plata.

Sin embargo, ninguno de los resultados para arena y sedimento excedió los RSL.

En las muestras de arena, las concentraciones de arsénico, cobalto, plomo, molibdeno y plata fueron más altas en la Bahía de Las Mareas que en el lugar de referencia (debe tenerse en cuenta que no se detectó molibdeno en el lugar de referencia).

En las muestras de sedimento, las concentraciones de arsénico, cromo, cobalto, plomo y litio fueron más altas que las del lugar de referencia (debe tenerse en cuenta que no se detectó cobalto en el lugar de referencia).

Resultados de las muestras de pescado. Se capturaron seis especies de pescado en la Bahía de Las Mareas y en el lugar de referencia (cinco de seis especies eran las mismas en ambos lugares). Cuando se capturaron varios peces de una especie en un lugar, se combinaron de modo que se analizara una muestra compuesta para cada especie capturada en cada lugar. Se analizaron todas las especies de pez tanto enteros como cortados en filetes, excepto las sardinas, que solo se analizaron en forma total porque habitualmente se consumen enteras.

Las distribuciones de concentraciones detectadas de sustancias inorgánicas y metilmercurio en peces enteros y filetes en la Bahía de Las Mareas no son significativamente más elevadas que las concentraciones de las muestras reportadas para los lugares de referencia.

Menos del 50% de las muestras de peces enteros y filetes capturados en la Bahía de Las Mareas reportaron sustancias como cobalto, litio, plata y talio, aún cuando estos fueron pescados en esta área, donde la concentración detectada para estas sustancias inorgánicas en arena, sedimento y agua superficial resultó con medias o medianas estadísticamente más elevadas en comparación a los lugares de referencia.

De las 19 sustancias orgánicas analizadas, solo se detectó naftaleno en las muestras de la Bahía de Las Mareas o el lugar de referencia. No obstante, se detectó naftaleno en solo 1 de las 5 muestras de filetes y en 1 de las 6 muestras de peces enteros de la Bahía de Las Mareas, y en solo 2 de 6 muestras de filetes y peces enteros en el lugar de referencia. Las concentraciones del percentil 95 de naftaleno en la Bahía de Las Mareas (25 µg/kg en filete de pescado y 19 µg/kg en pescado entero) fueron más bajas que las concentraciones del percentil 95 correspondientes en el lugar de referencia (42 y 43 µg/kg en filete y pescado entero, respectivamente), lo que sugiere que las actividades industriales cerca de la Bahía de Las Mareas no contribuyen de manera significativa a las concentraciones de naftaleno en la bahía.

La **evaluación de exposición** identificó poblaciones potencialmente expuestas y estimó la captación química de las personas a través de rutas de exposición, como ingestión o contacto con la piel. La **figura ES-3** muestra una descripción general simplificada de las exposiciones consideradas; se incluyen más detalles sobre la metodología de evaluación de las exposiciones en la **sección 3**. Las rutas de exposición consideradas para este estudio incluyeron las siguientes:

- **Nadar:** exposición dérmica con aguas superficiales e ingestión incidental de agua al nadar (adultos y niños).
- **Jugar en la arena:** exposición dérmica con la arena e ingestión incidental de arena (solo niños).
- **Caminar sobre sedimentos:** exposición dérmica con sedimentos e ingestión incidental del sedimento (solo niños).

- **Consumo de pescado:** ingesta directa de pescado al comer de manera directa o consumo de caldo de cabeza de pescado; el primero se cuantifica en la HHRA, mientras que el último se menciona en la caracterización de riesgo (adultos y niños).

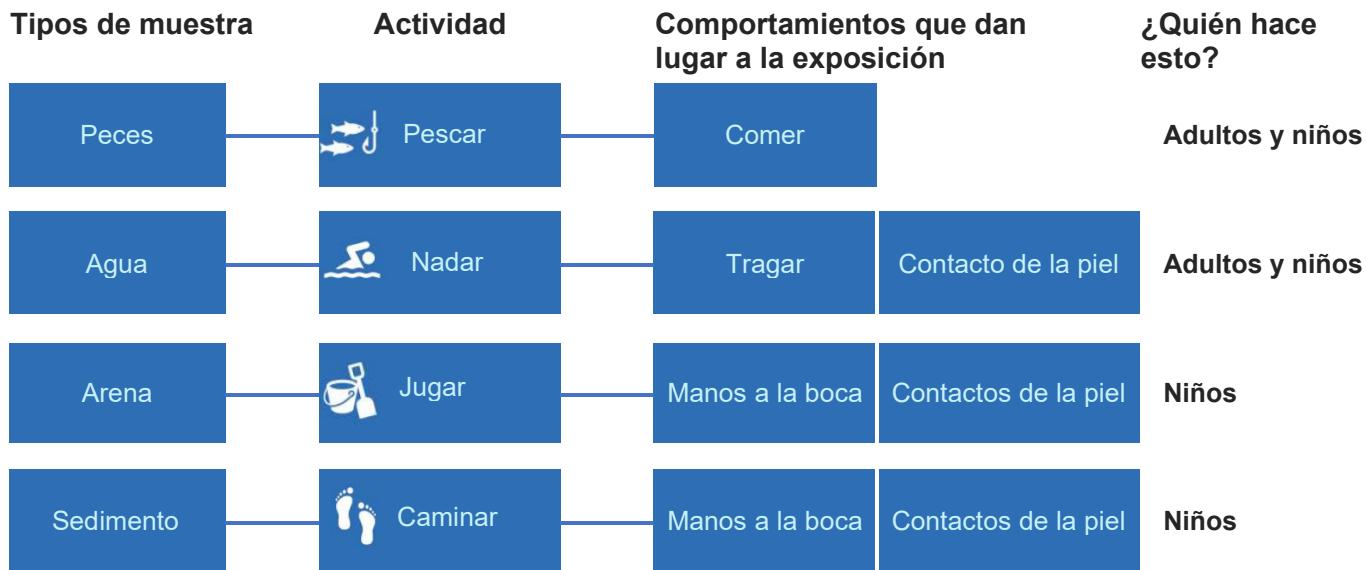


Figura ES-3. Descripción general de exposiciones consideradas en la HHRA

La **evaluación de toxicidad** analizó los criterios de valoración de toxicidad química, incluidos los efectos de cáncer y de la salud no relacionados con el cáncer a partir de la exposición a sustancias químicas. Las referencias de toxicidad para la salud humana se combinan con las estimaciones de exposición para caracterizar los riesgos relacionados con cáncer y peligros no cancerígenos. Las referencias de toxicidad para la salud humana posiblemente están disponibles para exposición oral (ingesta), pero no disponibles de manera general en relación con la exposición dérmica, por lo tanto, se usaron los valores de toxicidad *oral* para analizar la toxicidad dérmica. En la **sección 4** se incluyen detalles sobre la metodología de evaluación de toxicidad.

La **caracterización de riesgo** analizó la probabilidad y magnitud de la exposición química y los posibles efectos adversos para la salud asociados con exposiciones a concentraciones de extremo alto (percentil 95) y extremo mediano (percentil 50). Los peligros analizados en esta evaluación incluyen criterios de valoración carcinogénicos y no carcinogénicos. En la **sección 5** se incluyen detalles sobre la metodología de caracterización de riesgo.

Se calcularon los riesgos y el coeficiente de peligro (HQ) para los adultos (21 a <70 años; nadar y consumo de pescado solamente) y las siguientes cohortes de edad de niños: 1 a <2 años, 2 a <3 años, 3 a <6 años, 6 a <11 años, 11 a <16 años, y 16 a <21 años (nadar, arena, sedimento y consumo de pescado). Para cada tipo de exposición (nadar, arena, sedimento, consumo de pescado), se identificó la cohorte de edad de los niños con los riesgos o HQ más altos (es decir, la cohorte de edad más vulnerable); estas normalmente son diferentes para los efectos relacionados y no relacionados con cáncer a partir de las diferencias en los cálculos y las variables consideradas. Se analizaron los resultados en relación con criterios de riesgo de nivel de preocupación de un HQ de 1 para no carcinógenos o un riesgo de cáncer de 1 en 10,000 (10^{-4} o 1E-4).

Riesgos de nadar recreativamente. Se analizó el riesgo en adultos y niños en relación con la exposición dérmica a aguas de la superficie, además de la ingesta incidental de agua al nadar. Ninguno de los resultados excedió los criterios de riesgo de la EPA (HQ = 1 o riesgo de cáncer = 1 en 10,000) y la mayoría fue extremadamente bajo (<0.001 para HQ no relacionado con cáncer y en el orden de 1E-8 [1 en 100,000,000] o más bajo para cáncer) para todos los grupos de edad. Estos resultados indican que no se prevén peligros inaceptables al nadar en la Bahía de Las Mareas a partir de las exposiciones a las sustancias químicas incluidas en esta HHRA.

Riesgos de jugar o recrearse en contacto con la arena. Solo se analizó el riesgo a niños para esta vía. Los riesgos se calcularon en relación con exposiciones a ingesta incidental, exposiciones dérmicas y el total de ingesta incidental y dérmica. Solo se pudieron analizar el arsénico y el cadmio en relación con la exposición dérmica, dado que no había factores de absorción dérmica presentes para otros inorgánicos analizados. No se detectó cadmio en las muestras de arena. Los resultados indican que los peligros no relacionados con el cáncer de la exposición recreativa a la arena de la playa son menos que los criterios de la EPA de un HQ de 1 para todas las sustancias químicas. Los resultados también indican que todos los riesgos de cáncer son inferiores a 1 en 10,000 para la exposición recreativa a la arena de la playa.

Riesgos de caminar o recrearse en contacto con sedimentos. Solo se analizó el riesgo a niños para esta vía. Los riesgos se calcularon en relación con exposiciones a ingesta incidental, exposiciones dérmicas y el total de ingesta incidental y dérmica. Los resultados fueron similares a aquellos para jugar en la arena, pero ninguno excedió los criterios de riesgo (HQ = 1 o riesgo = 1E-4 [1 en 10,000]). Los resultados dérmicos para arsénico en el sedimento son más bajos que aquellos para la arena a partir de que el factor de adherencia dérmica para el sedimento es considerablemente más bajo que para la arena, y se supone que se expone una menor cantidad de piel al sedimento (manos, brazos, piernas y pies en comparación con las mismas partes del cuerpo más el torso en el caso de la arena).

Consumo de pescado. Los resultados indican que los peligros del consumo de pescado son todos inferiores a un HQ de 1 para todas las sustancias químicas, excepto talio, que tiene un HQ de 1.2, ligeramente mayor que 1 para un grupo de edad (niños de 1 a <2 años). Se detectó talio en solo 1 de 5 muestras de pescado en la Bahía de Las Mareas, y el excedente no parece probable que refleje un riesgo importante por encima del punto de referencia. El factor de incertidumbre aplicado a la dosis de referencia de talio (usada directamente para calcular el coeficiente de peligro no relacionado con el cáncer) de 3,000 también destaca la gran incertidumbre en el resultado de riesgo. Los riesgos de cáncer por consumo de pescado son todos inferiores al objetivo de 1 en 10,000.

Plomo. No hay un valor de toxicidad aceptado para el plomo. En conformidad con la política de la EPA, se analizó el plomo usando el Modelo Integrado de Exposición, Captación y Biocinética (IEUBK) (EPA EE. UU., 2024c), que calcula los posibles niveles de plomo en sangre en niños de 7 años o menos (EPA EE. UU., 2024d). Estos niveles se comparan con el valor de referencia de plomo en sangre (BLRV) de los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades (CDC, por sus siglas en inglés) de 3.5 microgramos por decilitro ($\mu\text{g}/\text{dl}$). El BLRV es una medida basada en la población que refleja el percentil 97.5 de la distribución de plomo en sangre en niños estadounidenses de 1 a 5 años y no es un estándar basado en la salud ni un umbral de toxicidad.

Los niveles de plomo en sangre en niños de 1 a <2 años a partir del consumo de pescado capturado localmente pueden exceder ligeramente el BLRV.

Conclusiones

Solo se observó un excedente en los resultados de riesgos: talio, en pescado. Los resultados para el talio en pescado están basados en la detección de un solo pez de una sola especie (sierra); la concentración individual detectada en la Bahía de Las Mareas no es superior a la concentración detectada para un solo pez en el lugar de referencia (casabe). El excedente es para niños de 1 a <2 años, para quienes no hay datos disponibles sobre la tasa de consumo de pescado, de modo que se usó la tasa de consumo para niños de 2 a <3 años. En consecuencia, este excedente relacionado a un solo pez es altamente incierto, y probablemente sea una sobreestimación.