

Regiones de emergencia sanitaria y ambiental en México: Una breve revisión sobre la cuenca Baja del Río Coatzacoalcos

Regions of sanitary and environmental emergency in Mexico: A brief review of the lower basin of the Coatzacoalcos River

Omar Cruz-Santiago*✉, Arturo Torres-Dosal*, César Arturo Ilizaliturri-Hernández**, Guillermo Espinosa-Reyes**, Donaji J. González-Mille**, Guilherme Malafaia***

Cruz-Santiago, O., Torres-Dosal, A., Ilizaliturri-Hernández, C. A., Espinosa-Reyes, G., González-Mille, D. J., & Malafaia, G. (2024). Regiones de emergencia sanitaria y ambiental en México: Una breve revisión sobre la cuenca Baja del Río Coatzacoalcos. Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, 32(93), e4626, <https://doi.org/10.33064/icycuaa2024934626>

RESUMEN

La región de la cuenca baja del Río Coatzacoalcos (Veracruz) es considerada hoy en día una de las regiones más contaminadas de México. Allí convergen actividades urbanas, industriales, petroquímicas y agropecuarias que han propiciado la contaminación de los ecosistemas de la región con una mezcla compleja de sustancias químicas. En este contexto, este trabajo revisa la problemática ambiental que han sufrido los ecosistemas y comunidades humanas de la región; explorando desde los efectos ocasionados a éstos y, para los seres humanos, cómo los problemas sociales pueden ser cofactores en la exposición a los contaminantes presentes en la región. El objetivo final es divulgar el ejemplo y la evidencia de por qué una región es denominada como de Emergencia Sanitaria y Ambiental en México.

Palabras clave: contaminación; efectos; emergencia ambiental; problemas socioambientales; salud ecológica; salud humana.

ABSTRACT

The region of the lower basin of the Coatzacoalcos River (Veracruz) is considered as one of the most polluted regions in Mexico. There converge urban, industrial, petrochemical, and agricultural activities that have led to the contamination of the region's ecosystems

Recibido: 5 de septiembre de 2023 Aceptado: 8 de agosto de 2024 Publicado: 30 de septiembre de 2024

*El Colegio de la Frontera Sur Unidad San Cristóbal. Carretera Panamericana y Periférico Sur S/N, Barrio de María Auxiliadora, C. P. 29290, San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México. Correo electrónico: omar.cruz@ecosur.mx; atorres@ecosur.mx ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9640-5859>; <https://orcid.org/0000-0001-7932-761X>

**Centro de Investigación Aplicada en Ambiente y Salud (CIAAS), CIACyT-Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Av. Sierra Leona No. 550, Lomas 2ª. Sección, C. P. 78210, San Luis Potosí, S. L. P., México. Correo electrónico: cesar.ilizaliturri@uaslp.mx; guillermo.espinosa@uaslp.mx; donaji.gonzalez@uaslp.mx ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9775-1254>; <https://orcid.org/0000-0003-1964-8950>; <https://orcid.org/0000-0002-0248-6898>

***Laboratório de Toxicologia Aplicada ao Ambiente, Instituto Federal Goiano-Campus Urutaí. Rod. Geraldo Silva Nascimento Km. 2.5, C. P. 75790, Urutaí, Estado de Goiás, Brasil. Correo electrónico: guilherme.malafaia@ifgoiano.edu.br ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4773-7598>

✉ Autor para correspondencia

with a complex mixture of chemical. In this context, this work reviews the environmental problems that the ecosystems and human communities of the region have suffered; exploring the effects in these and for the humans how social problems can be cofactors in exposure to pollutants present in the region. The final objective is the scientific dissemination of the example and the evidence of why a region is called a Sanitary and Environmental Emergency in Mexico.

Keywords: ecological health; effects; environmental emergency; human health; pollution; socio-environmental problems.

INTRODUCCIÓN

Las regiones de emergencia sanitaria y ambiental (RESA) son regiones geográficamente definidas que se encuentran en una creciente situación de estrés sanitario y ambiental extremo debido a factores demográficos, económicos o políticos. Estas regiones se caracterizan por la convergencia de daños a la salud humana (ej. enfermedades graves), efectos en los ecosistemas y sus componentes, así como una presencia inusual de agentes tóxicos y contaminantes que podrían ser responsables de estos daños y efectos (Secretaría de Ciencia [Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (Secihti)], 9 de junio de 2023).

Las RESA se caracterizan por la existencia y concurrencia de actividades pertenecientes a cuatro núcleos económicos: urbanización, industria manufacturera, industria extractiva, producción agropecuaria y acuícola (Secretaría de Ciencia [Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (Secihti)], 18 de febrero de 2021). En la figura 1, se presentan ejemplos ilustrativos de actividades relacionadas con cada uno de estos núcleos económicos.



Figura 1. Ejemplos de actividades de los cuatro núcleos económicos. Estos núcleos y sus actividades pueden converger en una región.

Fuente: Secretaría de Ciencia [Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (Secihti)] (18 de febrero de 2021).

Recientemente, datos del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías, a través de canal de YouTube (Secretaría de Ciencia [Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (Secihti)], 18 de febrero de 2021; 9 de junio de 2023) indicaron que se han identificado regiones de emergencia sanitaria y ambiental (RESA) en las cuales se llevan a cabo investigaciones y proyectos con el fin de abordar soluciones a las problemáticas ambientales y sociales. Una de estas regiones donde convergen los cuatro tipos de núcleos es la cuenca baja del Río Coatzacoalcos (Veracruz), considerada hoy día como una de las regiones más contaminadas de México.

La región de la cuenca baja del Río Coatzacoalcos se ubica en el estado de Veracruz (México) en las coordenadas 18° 08' 56" N y 94° 24' 41" O (figura 2). Esta región se encuentra comprendida por más de 12 municipios, en los cuales se albergan complejos petroquímicos e industriales, zonas urbanizadas y áreas agrícolas.

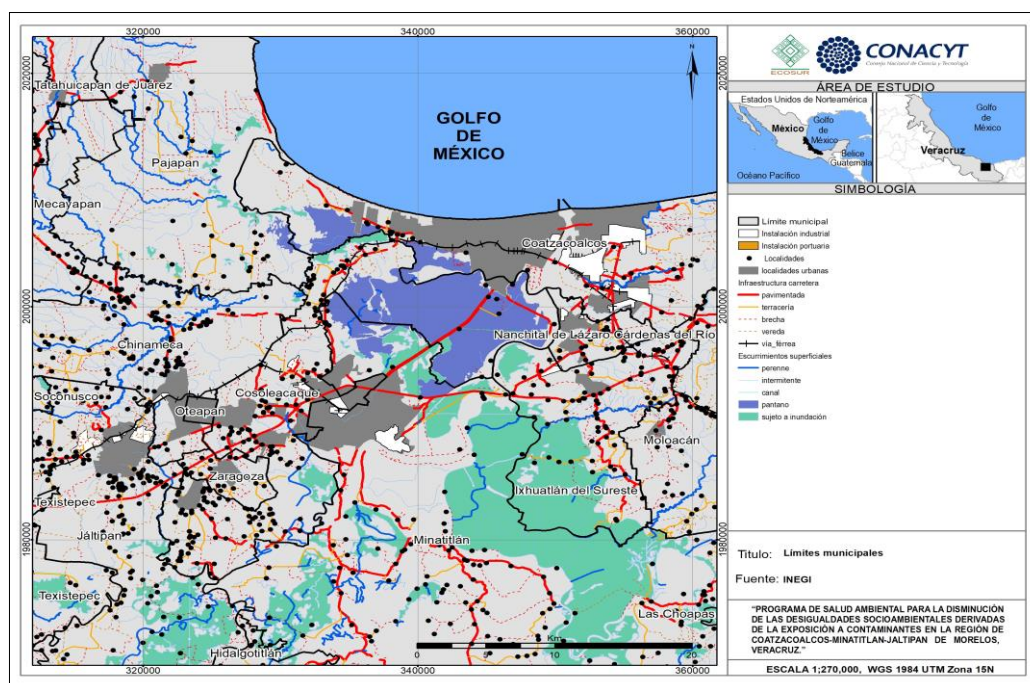


Figura 2. Ubicación y municipios que conforman la cuenca baja del Río Coatzacoalcos. Elaborado por Dr. Darío Alejandro Navarrete.

La región alberga una riqueza de ecosistemas vitales; como humedales, manglares, cuerpos de agua dulce y marinos. Lamentablemente, estos ecosistemas se han degradado no sólo por las actividades de explotación petrolera y petroquímica, también por el desordenado crecimiento industrial, urbano y agrícola que se ha producido en esta región.

El objetivo principal de este artículo es divulgar sobre la problemática socioambiental histórica que ha afectado a los habitantes y ecosistemas de la región de la cuenca baja del Río Coatzacoalcos. Se busca destacar de manera enfática los diversos tipos de contaminantes identificados a lo largo del tiempo, así como analizar sus impactos tanto en los ecosistemas como en la salud humana. Además, el artículo

busca evidenciar cómo los problemas sociales han interactuado como cofactores en la exposición a contaminantes presentes en la región. Por tanto, el artículo aspira a ser un llamado a la reflexión y a la colaboración interdisciplinaria para abordar las problemáticas de ésta y otras RESA.

DESARROLLO

Contexto histórico de la RESA de Coatzacoalcos

Históricamente la región ha atravesado diferentes etapas de desarrollo industrial, petrolero y económico como se muestra en la figura 2. La primera etapa (1894 a 1950) se inició con el descubrimiento de yacimientos petroleros en el sureste de Veracruz a principios del siglo XX, junto con la construcción de la refinería de Minatitlán en 1908. Durante esta fase inicial la industria con inversión extranjera desempeñó un papel fundamental en el desarrollo petrolero de la región (Bozada Robles & Bejarano González, 2006; Sánchez-Salazar, Martínez-Laguna, & Martínez-Galicia, 1999).

Durante el periodo de 1950-1976 (etapa 2) y de los años 80s (etapa 3) la demanda generada por la industria química nacional derivó en el desarrollo de la industria petroquímica, por lo cual en la región se construyeron complejos petroquímicos importantes: Pajaritos (1967), Cosoleacaque (1971), Cangrejera (1980) y Morelos (1988). Asimismo, durante estos años se construyó la terminal marítima de Pajaritos y se desarrolló una compleja red de ductos para interconectar los complejos; dando paso a la instalación empresas dedicadas a la producción de fertilizantes, etoxilados, surfactantes y otras sustancias químicas. Todas estas actividades requirieron el acondicionamiento de zonas pantanosas o el dragado de materiales en el Río Coatzacoalcos, con lo que comenzó el impacto ambiental en la región (Bozada Robles & Bejarano González, 2006; Rodríguez, 2019; Sánchez-Salazar et al., 1999).

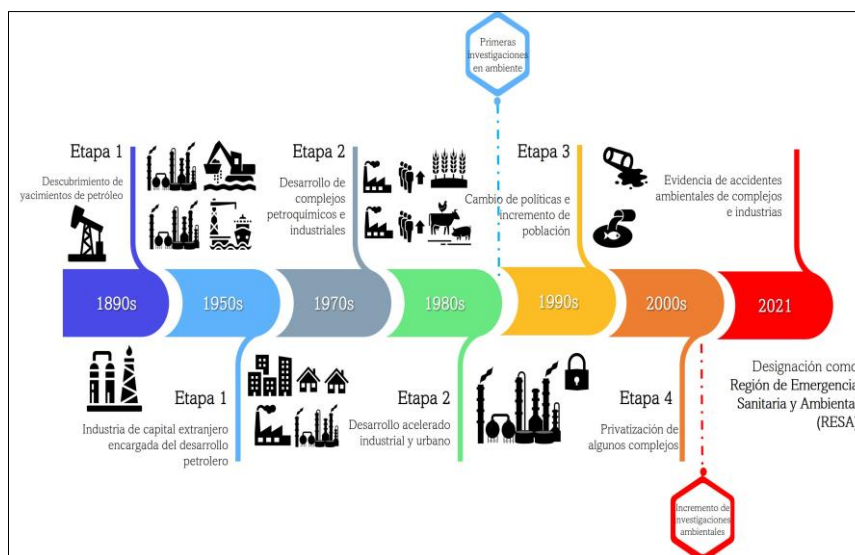


Figura 3. Línea del tiempo que representa una síntesis de las etapas y como éstas han afectado a la cuenca baja del Río Coatzacoalcos. Elaboración propia basada en Bozada Robles y Bejarano González (2006), Rodríguez (2019) y Sánchez-Salazar et al. (1999).

Esta secuencia de eventos desencadenó una migración masiva de trabajadores de diferentes partes del país, resultando en un rápido crecimiento demográfico en los municipios de la región, incluso en áreas rurales, por lo cual hubo un crecimiento urbano descontrolado, sin planificación y sin políticas de ordenamiento territorial efectivas. Como consecuencia, las ciudades se expandieron sobre terrenos no aptos, generando una serie de desafíos sociales; como la escasez de agua, la falta de infraestructura escolar y la insuficiencia de servicios de salud, entre otros (Moncada-Maya 1986; Sánchez-Salazar et al., 1999; Bozada Robles & Bejarano González, 2006). Además, el auge económico atrajo la explotación de otros recursos y provocó la expansión de la agricultura y la ganadería, lo cual generó más problemas ambientales para los ecosistemas. Mientras que los problemas sociales plantearon preocupaciones significativas para la salud humana (Bozada Robles & Bejarano González, 2006; Rodríguez, 2019; Sánchez-Salazar et al., 1999).

A partir de la década de los 2000, el crecimiento urbano e industrial continuó en aumento, así como los problemas ambientales y sociales. Estos últimos se vieron agravados por accidentes ambientales como derrames de petróleo, fugas de ductos e incendios en ductos, complejos petroquímicos e industriales (Flores-de la Cruz, Rendón-Hernández, Flores-Pérez, & Reyes-Hernández, 2019). Todo esto debido a la falta de organización, negligencia en algunos casos y la carencia de protocolos efectivos para abordar estas situaciones (Bozada-Robles, 30 de julio de 2012; Bozada-Robles & Namihira-Santillán, 2005).

Es así como a lo largo de estas etapas se produjo una creciente contaminación ambiental y acumulación de contaminantes, con impactos no solo en los ecosistemas, sino también en la salud de las comunidades humanas. Sin embargo, no fue hasta el año 2021 que esta región finalmente fue designada como una región de emergencia sanitaria y ambiental (RESA), más de dos décadas después de las primeras evidencias del deterioro ambiental (Secretaría de Ciencia [Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (Seciht)], 18 de febrero de 2021).

La preocupación acerca de la contaminación ambiental

En la década de los 80 se comenzó a evidenciar la presencia de contaminantes en cuerpos de agua, suelo y organismos acuáticos (figura 3). La presencia de metales pesados provenientes de industrias y complejos petroquímicos fueron las primeras evidencias de una contaminación en la región (Páez-Osuna, Botello, & Villanueva, 1986; Rosales-Hoz & Carranza-Edwards, 1998; Vásquez-Botello & Páez-Osuna, 1986). Tiempo después, se evidenció la presencia de residuos o contaminantes provenientes de procesos petroquímicos, como los hidrocarburos aromáticos policíclicos (Padilla-Reza, 1989; Vásquez-Botello & Páez-Osuna, 1986). A partir de la década de los 2000 más estudios comenzaron a evidenciar no sólo la presencia de estos y otros contaminantes más peligrosos en ambiente (ej. dioxinas y organoclorados), también sus efectos en organismos acuáticos y terrestres, incluyendo al ser humano (Botello, Rendón von Osten, Gold-Bouchot, & Agraz-Hernández, 2005; Bozada-Robles, 30 de julio de 2012; González-Mille et al., 2020).

Los efectos de estos contaminantes no son tan diferentes entre organismos acuáticos y el ser humano (figura 4). Por ejemplo, entre los metales pesados identificados hasta el momento el plomo y el mercurio son los más preocupantes. Algunas investigaciones en la región han demostrado la presencia y efectos del plomo en organismos acuáticos y terrestres que habitan en las proximidades de complejos petroquímicos e industriales (González-Mille et al., 2018; Ilizaliturri-Hernández et al., 2013;

Pelallo-Martínez, Ilizaliturri-Hernández, Espinosa-Reyes, Carrizales-Yáñez, & González-Mille, 2011; Ruelas-Inzunza, Gárate-Viera, & Páez-Osuna, 2007; Ruelas-Inzunza, Páez-Osuna, Zamora-Arellano, Amezcua-Martínez, & Bojórquez-Leyva, 2009). El punto más preocupante es que lo anterior se ha demostrado a la par en habitantes de la región, siendo más alarmante los efectos encontrados en población infantil (Pelallo-Martínez, Batres-Esquivel, Carrizales-Yáñez, & Díaz-Barriga, 2014; Pérez-Zapata, Deleón, & Valenzuela-Vargas, 1982; Pérez-Zapata, Levy-Pérez, & Gil-Rodríguez, 1990).

En relación con el mercurio, en esta región se han detectado concentraciones en organismos marinos que forman parte de la dieta de los habitantes. Más aún, existe evidencia sobre la exposición de mercurio en comunidades de Coatzacoalcos, donde se ha demostrado su presencia en muestras de cabello de adultos (Báez, Nulman R., Rosas, & Gálvez, 1976; Bozada-Robles, 30 de julio de 2012; Rosas-Pérez, 1974; Ruelas-Inzunza et al., 2009; Ruelas-Inzunza, Páez-Osuna, Ruiz-Fernández, & Zamora-Arellano, 2011). Esto es preocupante debido a los efectos adversos que el mercurio puede causar, que van desde neurotoxicidad hasta malformaciones congénitas. Incluso el caso de Minamata nos puede refrescar la memoria (Ekino, Susa, Ninomiya, Imamura, & Kitamura, 2007; Organización Mundial de la Salud, 24 de octubre de 2024; Yacuzzi, 2008). Esto puede observarse en la figura 4.

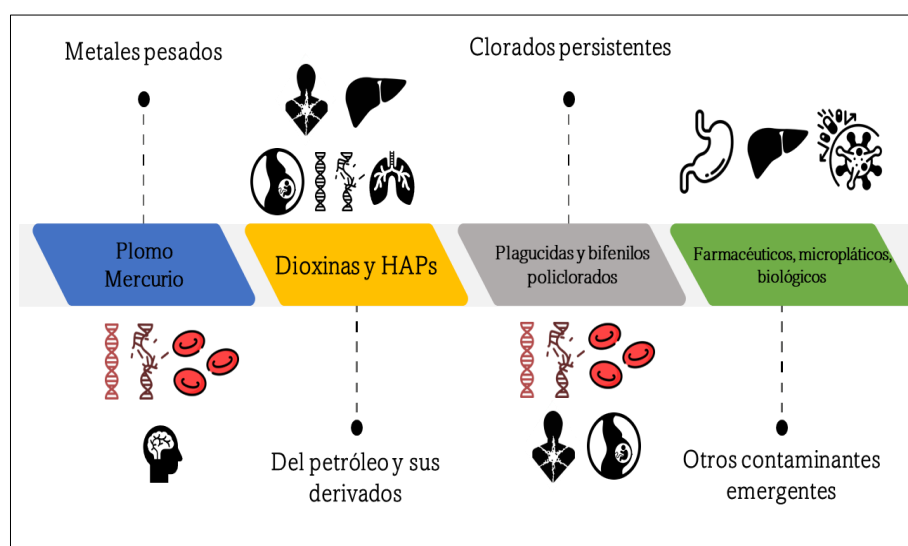


Figura 4. Efectos demostrados que ocasionan los contaminantes que se han encontrado en la cuenca baja del Río Coatzacoalcos. Los iconos a color son los efectos encontrados hasta ahora en la RESA Coatzacoalcos, tanto en seres humanos como en organismos silvestres.

Elaboración propia basada de los estudios que el texto cita.

Entre los contaminantes generados por el procesamiento del petróleo y sustancias químicas en complejos industriales, las dioxinas son particularmente preocupantes. En la región de Coatzacoalcos, no sólo se ha demostrado la presencia en el ambiente de estos contaminantes (Stringer, Labunska, Brigden, & Santillo, junio de 2002), sino que también se han encontrado concentraciones de estos en huevos de gallina, lo que representa una vía de exposición en seres humanos (Red de Acción Sobre Plaguicidas y Alternativas en México-RAPAM et al., 2005). Lo más alarmante es que se

ha evidenciado la presencia de dioxinas en plasma de mujeres embarazadas (Rodríguez-Dozal et al., 2012), debido a que estos contaminantes pueden tener efectos en la reproducción y el sistema endocrino (Stringer et al., junio de 2002; White & Birnbaum, 2009), lo que representa una problemática de salud que hasta hoy no ha sido atendida.

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) son contaminantes presentes en la región de Coatzacoalcos provenientes del procesamiento del petróleo y sus derivados en refinerías y complejos petroquímicos. También provienen de derrames accidentales en ductos cercanos a arroyos y en la delta del Río Coatzacoalcos (Albert et al., 2005; Bozada-Robles, 30 de julio de 2012; Ruiz-Fernández et al., 2016; Vázquez-Botello & Pérez-Osuna, 1986). Estas fuentes han expuesto a los habitantes de la región, tanto así que se ha demostrado su presencia en población infantil de las comunidades locales (Pelallo-Martínez et al., 2014; Sánchez-Guerra et al., 2012). La preocupación radica en que los HAP pueden causar efectos carcinogénicos, teratogénicos, mutagénicos y genotóxicos en animales y humanos (Honda & Suzuki, 2020; Mastandrea et al., 2005). La figura 4 lo ilustra.

En cuanto a los contaminantes clorados se ha evidenciado su acumulación y posible biomagnificación a través de la cadena trófica en la región. Estos contaminantes provienen principalmente de actividades industriales (bifenilos policlorados) y agropecuarias (plaguicidas organoclorados) (Espinosa-Reyes, González-Mille, Ilizaliturri-Hernández, Díaz-Barriga, & Mejía-Saavedra, 2012; Espinosa-Reyes et al., 2013; González-Mille et al., 2019). Lo más preocupante de los organoclorados es la acumulación y biomagnificación sobre todo en organismos de interés alimentario (Kelly, Ikononou, Blair, Marin, & Gobas, 2007). Aunque no está demostrado en esta región, surge la pregunta sobre si existe una exposición de estos contaminantes en seres humanos producto del consumo de organismos que los acumulan. Estos compuestos pueden causar una variedad de efectos en la vida silvestre; desde alteraciones hormonales en anfibios y peces hasta la disminución de poblaciones de aves. En seres humanos pueden afectar el sistema endocrino, la reproducción y tener efectos genotóxicos, teratogénicos y mutagénicos (Alharbi, Basheer, Khattab, & Ali, 2018). Esto puede observarse en la figura 4.

Hasta este punto queda claro cuán crítica es la mezcla de contaminantes que ahí convergen y que ponen en riesgo la salud ecológica y humana. La evidencia de exposición y efectos es clara hasta este punto. Más aún, las comunidades humanas de la región enfrentan problemas sociales, los cuales pueden aumentar la exposición y efectos de estos contaminantes.

Los problemas sociales: Un cofactor en la exposición a contaminantes

Las condiciones de vivienda, el acceso a servicios públicos, el acceso a educación e infraestructura escolar y la seguridad alimentaria son considerados factores o cofactores que pueden predisponer a la exposición de contaminantes y sus efectos sobre la salud de las comunidades humanas en una región (Ilizaliturri et al., 2009; Monroy-Torres & Espinoza-Pérez, 2018). Lamentablemente, las comunidades de la RESA de Coatzacoalcos han sufrido problemáticas sociales en torno a estos factores (figura 5).

Uno de los principales problemas sociales que se han destacado en investigaciones sociales y científicas de la región es la falta de acceso a servicios públicos como agua potable y saneamiento en comunidades, sobre todo las cercanas

a complejos industriales (Barrera-Escorcia & Wong-Chang, 2005; Casado-Izquierdo & Sánchez-Salazar, 2013; Sánchez-Salazar et al., 1999). La falta de estos servicios sí puede conducir a aparición de enfermedades y puede predisponer a la población no sólo a contaminantes químicos, sino a microbiológicos (Barrera-Escorcia & Wong-Chang, 2005; Ilizaliturri et al., 2009; Méndez Pérez, Tejeda Martínez, & Ramírez, 2010). Además, la falta de un adecuado tratamiento de aguas municipales e industriales, que en su mayoría se vierten en cuerpos de agua naturales de la región, agrava la contaminación y genera problemas sociales y de salud significativos (Bozada-Robles, 30 de julio de 2012; Casado-Izquierdo & Sánchez-Salazar, 2013).

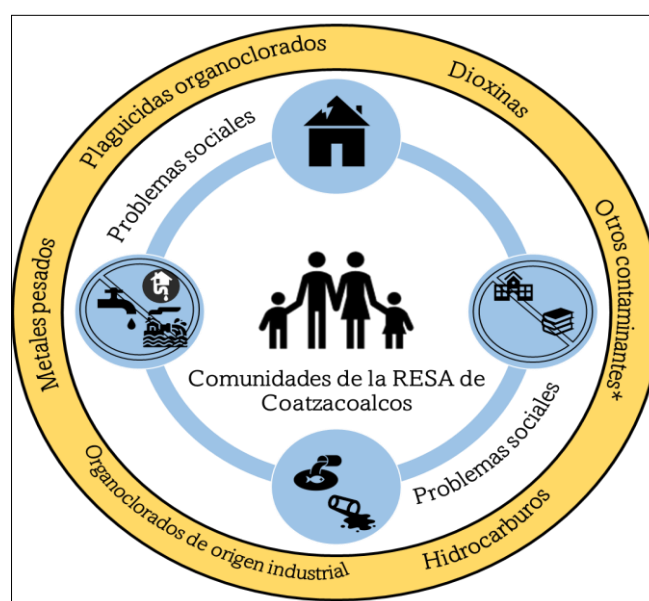


Figura 5. Los problemas sociales de la RESA de Coatzacoalcos como cofactor en la exposición de las comunidades humanas a contaminantes. Elaboración propia.

El crecimiento acelerado trajo consigo una explosión demográfica y urbanización que generó falta de vivienda digna. Además, la ausencia de políticas públicas adecuadas dejó algunas zonas de asentamiento sin servicios básicos, como saneamiento y agua potable (Casado-Izquierdo & Sánchez-Salazar, 2013; Sánchez-Salazar et al., 1999). Esto llevó a que la población se estableciera en zonas de riesgo (inundación y hundimiento) o que requieran la destrucción de ecosistemas como pantanos, dunas y manglares; afectando los servicios ambientales que proporcionaban; como el control de inundaciones y la filtración del agua; lo que resultó en problemas de inundaciones y deterioro de viviendas (Bozada-Robles, 30 de julio de 2012; Bozada Robles & Bejarano González, 2006; Casado-Izquierdo & Sánchez-Salazar, 2013). Esto es preocupante porque se ha demostrado que la falta de viviendas adecuadas podría aumentar la exposición a contaminantes que se encuentran en el agua e, incluso, en el aire interior (Ferguson et al., 2020; 2021).

Otro problema social destacado en investigaciones y reportes científicos de la región está relacionado con la comunidad pesquera. La falta de tratamiento adecuado de aguas residuales industriales, derrames accidentales y la contaminación

de aguas urbanas han transformado la pesca de gran escala en pequeña escala (Bozada-Robles, 30 de julio de 2012). Sin embargo, la acumulación de contaminantes en organismos acuáticos plantea preocupaciones sobre la seguridad alimentaria de las comunidades locales.

Además, los derrames accidentales no sólo han tenido impacto ecológico; también social. Los pescadores a menudo son contratados para participar en la limpieza de los sitios de derrame; pero lo hacen sin seguro médico y con equipo inadecuado (Albert et al., 2005; Bozada-Robles, 30 de julio de 2012; Bozada-Robles & Namihira-Santillán, 2005). Esto aumenta su exposición a los contaminantes derivados del petróleo. La falta de seguimiento adecuado de estos casos plantea preguntas sobre los efectos a corto, mediano y largo plazo en la salud de las comunidades locales.

La exposición a contaminantes persistentes orgánicos y metales pesados puede ser considerada un problema de salud. Se ha demostrado que las poblaciones que habitan en regiones con concentraciones de estos contaminantes tienen un mayor riesgo de enfermedades, incluyendo cánceres y afecciones en el hígado y los riñones. Dos ejemplos claros de esto son las comunidades cercanas al Río Atoyac (Puebla) y al Río Santiago (Jalisco), donde se han documentado mezclas complejas de contaminantes, problemas sociales y enfermedades que causan mortalidad (Martínez-González & Hernández, 2009; Rodríguez-Tapia, Morales-Novelo, & Zavala-Vargas, 2012; Secretaría de Ciencia [Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (Secihti)], 18 de febrero de 2021). Aunque aún no existe un estudio que vincule las enfermedades con los problemas sociales y los contaminantes en la región de Coatzacoalcos, es probable que los resultados sean similares a los observados en los ríos Atoyac y Santiago. Esto ayuda a entender por qué ahora se consideran regiones de emergencia sanitaria y ambiental (RESA).

CONCLUSIONES

La RESA de Coatzacoalcos es el más claro ejemplo de una región afectada por los cuatro núcleos económicos y su interacción. El resultado de malas políticas públicas y de un desarrollo acelerado industrial y petroquímico ha sido una región de emergencia sanitaria y ambiental que hoy necesita urgentemente acciones que mejoren el bienestar de los ecosistemas y comunidades humanas.

Creemos que las investigaciones científicas, en materia de contaminación ambiental y sus efectos, ya son las suficientes para que las autoridades gubernamentales hubiesen puesto en marcha programas para resolver esta problemática tan compleja.

Aunque el Conahcyt haya designado a esta región como una RESA, queda mucho por hacer para mejorar la salud de las comunidades y ecosistemas que allí convergen. Por tanto, nosotros recomendamos un mayor trabajo científico y con las comunidades humanas; sobre todo en la articulación de temas de salud pública y su relación con la problemática socioambiental.

Agradecimientos

El investigador Omar Cruz-Santiago agradece la beca posdoctoral otorgada por el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (Conahcyt). Agradecemos también al Conahcyt por el financiamiento otorgado a través de los Programas Nacionales Estratégicos (ProNacEs)–Proyecto Nacional de Investigación e Incidencia (PRONAI) - 319010. Finalmente, el equipo de trabajo agradece al Dr. Darío Alejandro Navarrete por la elaboración del mapa de la RESA Coatzacoalcos.

REFERENCIAS

- Albert, L. A., Bozada-Robles, L., Uribe-Juárez, J., López-Portillo, J., Méndez-Alonzo, R., Soto, K. A., ... Torrès-Nachón, C. J. (2005). Evaluación Instantánea de los Efectos del Derrame de Petróleo en el Área de Nanchital-Coatzacoalcos, Veracruz (22 de diciembre de 2004). En A. V. Botello, J. Rendón von Osten, G. Gold-Bouchot, & C. Agraz-Hernández (Eds.), *Golfo de México. Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias* (2ª. ed., pp. 665-668). Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Ecología.
- Alharbi, O. M. L., Basheer, A. A., Khattab, R. A., & Ali, I. (2018). Health and environmental effects of persistent organic pollutants. *Journal of Molecular Liquids*, 263, 442-453. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.05.029>
- Báez, A. P., Nulman R., Rosas, I., & Gálvez, L. (1976). Aquatic organism contamination by mercury residues in the Coatzacoalcos River Estuary, México. *International Atomic Energy Agency* (pp. 73-99). Viena.
- Barrera-Escorcia, G., & Wong-Chang, I. (2005). Diagnóstico de la contaminación microbiológica en el Golfo de México. En A.V. Botello, J. Rendón von Osten, G. Gold-Bouchot, & C. Agraz-Hernández (Eds.), *Golfo de México. Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias* (2ª. ed., pp. 515-524). Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Ecología.
- Botello, A.V., Rendón von Osten, J., Gold-Bouchot, G., & Agraz-Hernández, C. (2005). *Golfo de México. Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias* (2ª. ed.). Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Ecología.
- Bozada-Robles, L. M. (30 de julio de 2012). Coatzacoalcos, historia de un ecocidio impune. *La Jornada Ecológica*, número especial. <https://www.jornada.com.mx/2012/07/30/eco-c.html>
- Bozada Robles, L. M., & Bejarano González, F. (2006). *Los Contaminantes Orgánicos Persistentes en el Istmo Mexicano*. Red de Acción sobre Plaguicidas y Alternativas en México (RAPAM). <https://www.rapam.org/wp-content/uploads/2015/12/Los-Contaminantes-Istmo-Opti.pdf>
- Bozada-Robles, L. M., & Namihira-Santillán, P. E. (2005). El Derrame de Petróleo del 22 de Diciembre de 2004 en la Cuenca Baja del Río Coatzacoalcos: Estudio de Caso. En A. V. Botello, J. Rendón von Osten, G. Gold-Bouchot, & C. Agraz-Hernández (Eds.), *Golfo de México. Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias* (2ª. ed., pp. 681-695). Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Ecología.
- Casado-Izquierdo, J. M., & Sánchez-Salazar, M. T. (2013). Coatzacoalcos: Reestructuración Urbana e Inversión privada en una ciudad media mexicana. *EURE (Santiago)*, 39(117), 91-116.
- Ekino, S., Susa, M., Ninomiya, T., Imamura, K., & Kitamura, T. (2007). Minamata disease revisited: An update on the acute and chronic manifestations of methyl mercury

- poisoning. *Journal of the Neurological Sciences*, 262(1-2), 131–144. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2007.06.036>
- Espinosa-Reyes, G., González-Mille, D., Ilizaliturri-Hernández, C., Díaz-Barriga, F., & Mejía-Saavedra, J. (2012). Exposure Assessment to Persistent Organic Pollutants in Wildlife: the case study of Coatzacoalcos, Veracruz, Mexico. En T. Puzyn, & A. Mostrag-Szlichtyng (Eds.), *Organic pollutants ten years after the Stockholm Convention-Environmental and analytical update* (pp. 113-134). IntechOpen.
 - Espinosa-Reyes, G., Ilizaliturri-Hernández, C. A., González-Mille, D. J., Mejía-Saavedra, J., Nava, A. D., Cuevas, M. C., & Cilia-López, G. (2013). Contaminantes orgánicos persistentes en la cuenca baja del río Coatzacoalcos, Veracruz. En A. V. Botello, J. Rendón von Osten, J. A. Benítez, & G. Gold-Bouchot (Eds.), *Golfo de México. Contaminación e Impacto Ambiental: diagnóstico y tendencias* (3ª. ed., pp. 309-322). UAC, UNAM-ICMYL, CINVESTAV-Unidad Mérida.
 - Ferguson, L., Taylor, J., Davies, M., Shrubsole, C., Symonds, P., & Dimitroulopoulou, S. (2020). Exposure to indoor air pollution across socio-economic groups in high-income countries: A scoping review of the literature and a modelling methodology. *Environment International*, 143, 105748. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105748>
 - Ferguson, L., Taylor, J., Zhou, K., Shrubsole, C., Symonds, P., Davies, M., & Dimitroulopoulou, S. (2021). Systemic inequalities in indoor air pollution exposure in London, UK. *Buildings & Cities*, 2(1), 425–448. <https://doi.org/10.5334/bc.100>
 - Flores-de la Cruz, S. F., Rendón-Hernández, R. J., Flores-Pérez, C., & Reyes-Hernández, V. (2019). Percepción social del riesgo de desastres industriales y de daños a la salud en habitantes cercanos al complejo petroquímico Cosoleacaque. *Hitos De Ciencias Económico Administrativas*, 25(73), 416-433. <https://doi.org/10.19136/hitos.a25n73.3630>
 - González-Mille, D. J., Cruz-Santiago, O., Espinosa-Reyes, G., Cuevas-Díaz, M. del C., Razo-Soto, I., & Ilizaliturri-Hernández, C. A. (2018). Monitoring Physiological Responses in Giant Toad (*Rhinella marina*) from Coatzacoalcos, Mexico: A Comparative Study after 8 Years. En D. R. Aguillón-Gutiérrez (Ed.), *Reptiles and Amphibians* (pp. 49-66). InTechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.75430>
 - González-Mille, D. J., Cruz-Santiago, O., Ilizaliturri-Hernández, C. A., Espinosa-Reyes, G., Pelallo-Martínez, N., Trejo-Acevedo, A.,... Díaz-Barriga, F. (2020). "The One Health" a Methodological Approach to Study the Vulnerability and Effects of Persistent Organic Pollutants (POPs) in Coatzacoalcos, Veracruz, Mexico. En J. A. Daniels (Ed.), *Advances in Environmental Research Volume 77* (pp. 145-166). Nova Science Publishers.
 - González-Mille, D. J., Ilizaliturri-Hernández, C. A., Espinosa-Reyes, G., Cruz-Santiago, O., Cuevas-Díaz, M. C., Martín Del Campo, C. C., & Flores-Ramírez, R. (2019). DNA damage in different wildlife species exposed to persistent organic pollutants (POPs) from the delta of the Coatzacoalcos River, Mexico. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 180, 403–411. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.05.030>
 - Honda, M., & Suzuki, N. (2020). Toxicities of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons for Aquatic Animals. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(4), 1363. <https://doi.org/10.3390/ijerph17041363>
 - Ilizaliturri, C. A., González-Mille, D., Pelallo, N. A., Domínguez, G., Mejía-Saavedra, J., Torres Dosal, A., ... Espinosa-Reyes, G. (2009). Revisión de las metodologías sobre evaluación de riesgos en salud para el estudio de comunidades vulnerables en América Latina. *Interciencia*, 34(10), 710-717. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442009001000008
 - Ilizaliturri-Hernández, C. A., González-Mille, D. J., Mejía-Saavedra, J., Espinosa-Reyes, G., Torres-Dosal, A., & Pérez-Maldonado, I. (2013). Blood lead levels, δ-ALAD inhibition, and hemoglobin content in blood of giant toad (*Rhinella marina*) to assess lead exposure in three areas surrounding an industrial complex in Coatzacoalcos,

- Veracruz, Mexico. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185(2), 1685–1698. <https://doi.org/10.1007/s10661-012-2660-7>
- Kelly, B. C., Ikononou, M. G., Blair, J. D., Morin, A. E., & Gobas, F. A. (2007). Food web-specific biomagnification of persistent organic pollutants. *Science*, 317(5835), 236–239. <https://doi.org/10.1126/science.1138275>
 - Martínez-González, P., & Hernández, E. (2009). Impactos de la contaminación del Río Santiago en el bienestar de los habitantes de El Salto, Jalisco. *Espacio abierto*, 18(4), 709-729. <https://biblat.unam.mx/es/revista/espacioabierto/articulo/impactos-de-la-contaminacion-del-rio-santiago-en-el-bienestar-de-los-habitantes-de-el-salto-jalisco>
 - Mastandrea, C., Chichizola, C., Ludueña, B., Sánchez, H., Álvarez, H., & Gutiérrez, A. (2005). Hidrocarburos aromáticos policíclicos. Riesgos para la salud y marcadores biológicos. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*, 39(1), 27-36. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53522191006>
 - Méndez Pérez, I. R., Tejeda Martínez, A., & Ramírez, I. S. (2010). Relación estadística entre la temperatura ambiente y las enfermedades diarreicas en Coatzacoalcos, Veracruz (México). *Investigaciones Geográficas*, 73, 119-128. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8748327>
 - Moncada-Maya, J. O. (1986). Crecimiento y deterioro, el caso de Coatzacoalcos-Minatitlán. *Revista Geográfica*, 0(103), 55-68.
 - Monroy-Torres, R., & Espinoza-Pérez, J. A. (2018). Factores que intensifican el riesgo toxicológico en comunidades expuestas al arsénico en agua. *CienciaUAT*, 12(2), 148-157. <https://www.redalyc.org/journal/4419/441955208012/html/>
 - Organización Mundial de la Salud (OMS). (24 de octubre de 2024). Mercurio. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/mercury-and-health>
 - Padilla-Reza, M. I. (1989). *Determinación de los Niveles de Hidrocarburos en Sedimentos Recientes del Río Calzadas, en la Región del Bajo Río Coatzacoalcos, Veracruz, México* (Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México).
 - Páez-Osuna, F., Botello, V. A., & Villanueva, S. (1986). Heavy metals in Coatzacoalcos estuary and oston lagoon, Mexico. *Marine Pollution Bulletin*, 17(11), 516-519. [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(86\)90642-9](https://doi.org/10.1016/0025-326X(86)90642-9)
 - Pelallo-Martínez, N. A., Batres-Esquivel, L., Carrizales-Yáñez, L., & Díaz-Barriga, F. M. (2014). Genotoxic and hematological effects in children exposed to a chemical mixture in a petrochemical area in Mexico. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 67(1), 1–8. <https://doi.org/10.1007/s00244-014-9999-4>
 - Pelallo-Martínez, N. A., Ilizaliturri-Hernández, C. A., Espinosa-Reyes, G., Carrizales-Yáñez, L., & González-Mille, D. J. (2011). Assessment of exposure to lead in humans and turtles living in an industrial site in Coatzacoalcos Veracruz, Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 86(6), 642–645. <https://doi.org/10.1007/s00128-011-0290-3>
 - Pérez-Zapata, A. J., Deleón, I. R., & Valenzuela-Vargas, T. (1982). La contaminación por plomo en habitantes de Coatzacoalcos, Veracruz. *Anales de la Escuela de Ciencias Biológicas del IPN*, 26, 147-151.
 - Pérez-Zapata, A. J., Levy-Pérez, A., & Gil-Rodríguez, A. M. (1990). Las porfirinas eritrocitarias y la deshidratasa del ácido delta-aminolevulínico como índices de contaminación por plomo. *Anales de la Escuela de Ciencias Biológicas del IPN*, 33, 211-218.
 - Red de Acción Sobre Plaguicidas y Alternativas en México-RAPAM et al. (2005). *Contamination of chicken eggs near the Pajaritos Petrochemical Complex in Coatzacoalcos, Veracruz, Mexico by dioxins, PCBs and hexachlorobenzene* (28 pp.). https://ipen.org/sites/default/files/documents/5mex_mexico_eggsreport-en.pdf

- Rodríguez, H. (2019). El Conflicto Ambiental en el Istmo de Tehuantepec: Una Región en Perspectiva Histórica. En M. Aguilar-Robledo, H. Reyes-Hernández, & O. Reyes-Pérez, *La Historia Ambiental en México: Estudios de Caso*. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Rodríguez-Dozal, S., Riojas Rodríguez, H., Hernández-Ávila, M., Van Oostdam, J., Weber, J. P., Needham, L. L., & Trip, L. (2012). Persistent Organic Pollutant concentrations in first birth mothers across Mexico. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 22(1), 60–69. <https://doi.org/10.1038/jes.2011.31>
- Rodríguez-Tapia, L., Morales-Novelo, J. A., & Zavala-Vargas, P. (2012). Evaluación socioeconómica de daños ambientales por contaminación del río Atoyac en México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 3, 143-151. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=353531980010>
- Rosales-Hoz, L., & Carranza-Edwards, A. (1998). Heavy Metals in Sediments from Coatzacoalcos River, Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination & Toxicology*, 60, 553-561. <https://doi.org/10.1007/s001289900661>
- Rosas-Pérez, I. A. (1974). *Cuantificación de mercurio en la biota relacionada con el Río Coatzacoalcos* (Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México).
- Ruelas-Inzunza, J., Gárate-Viera, Y., & Páez-Osuna, F. (2007). Lead in clams and fish of dietary importance from Coatzacoalcos estuary (Gulf of Mexico), an industrialized tropical region. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 79, 508-513. <https://doi.org/10.1007/s00128-007-9285-5>
- Ruelas-Inzunza, J., Páez-Osuna, F., Ruiz-Fernández, A. C., & Zamora-Arellano, N. (2011). Health risk associated to dietary intake of mercury in selected coastal areas of Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 86(2), 180-188. <https://doi.org/10.1007/s00128-011-0189-z>
- Ruelas-Inzunza, J., Páez-Osuna, F., Zamora-Arellano, N., Amezcua-Martínez, F., & Bojórquez-Leyva, H. (2009). Mercury in Biota and Surficial Sediments from Coatzacoalcos Estuary, Gulf of Mexico: Distribution and Seasonal Variation. *Water, Air, and Soil Pollution*, 197, 165-174. <https://doi.org/10.1007/s11270-008-9799-4>
- Ruelas-Inzunza, J., Spanopoulos-Zarco, P., & Páez-Osuna, F. (2009). Cd, Cu, Pb and Zn in clams and sediments from an impacted estuary by the oil industry in the southwestern Gulf of Mexico: Concentrations and bioaccumulation factors. *Journal of Environmental Science and Health. Part A, Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering*, 44(14), 1503-1511. <https://doi.org/10.1080/10934520903263280>
- Ruiz-Fernández, A. C., Portela, J. M., Sericano, J. L., Sánchez-Cabeza, J. A., Espinosa, L. F., Cardoso-Mohedano, J. G., ... Tinoco, J. A. (2016). Coexisting sea-based and land-based sources of contamination by PAHs in the continental shelf sediments of Coatzacoalcos River discharge area (Gulf of Mexico). *Chemosphere*, 144, 591-598. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.08.081>
- Sánchez-Guerra, M., Pelallo-Martínez, N., Díaz-Barriga, F., Rothenberg, S. J., Hernández-Cadena, L., Faugeron, S., ... Quintanilla-Vega, B. (2012). Environmental Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH) exposure and DNA damage in Mexican children. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 742(1-2), 66-71. <https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2011.12.006>
- Sánchez-Salazar, M. T., Martínez-Laguna, N., & Martínez-Galicia, M. (1999). Industria petroquímica y cambios socioeconómicos regionales en la costa del Golfo de México: El caso del sureste de Veracruz. *Investigaciones Geográficas*, 40, 127-147. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-46111999000300010&script=sci_arttext
- Secretaría de Ciencia [Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (Seciht)]. (18 de febrero de 2021). *Las Regiones de Emergencia Ambiental: definición y localización en México* [Archivo de video de webinar]

- organizado por Conahcyt]. Youtube.
<https://www.youtube.com/live/8tqzYRPhOls?si=2v2RRW3290Jsj-2E>
- _____ (09 de junio de 2023). *Las Regiones de Emergencia Sanitaria y Ambiental (RESA) en México: avances, balance críticos y perspectivas a futuro. ¿Qué son las Regiones de Emergencia Sanitaria y Ambiental (RESA)?: definición del concepto y ubicación geográfica* [Archivo de video de webinar organizado por Conahcyt]. Youtube. <https://www.youtube.com/live/Ylz8tMzKldM?si=HCZo-XsC1dAhqN4h>
 - Stringer, R., Labunska, I., Brigden, K., & Santillo, D. (junio de 2002). *Dioxin production in the PEMEX PVC plant: possible environmental and health effects. Nota Técnica de los Laboratorios de Investigación de Greenpeace 04/2002* (10 pp.). Autor. https://www.greenpeace.to/greenpeace/wp-content/uploads/2019/08/Dioxin-production-in-the-PEMEX-PVC-plant...Tech-note-04_Stringer-et-al-2002.pdf
 - Vásquez-Botello, A., & Páez-Osuna, F. (1986). La contaminación: El problema crucial. *Serie Medio Ambiente en Coatzacoalcas* (Vol. 1). Centro de Ecodesarrollo.
 - White, S. S., & Birnbaum, L. S. (2009). An overview of the effects of dioxins and dioxin-like compounds on vertebrates, as documented in human and ecological epidemiology. *Journal of Environmental Science and Health. Part C, Environmental Carcinogenesis & Ecotoxicology Reviews*, 27(4), 197-211. <https://doi.org/10.1080/10590500903310047>
 - Wong-Chang, I., & Barrera-Escorcia, G. (2005). Estado Actual de la Contaminación Microbiológica en el Golfo de México. En A. V. Botello, J. Rendón von Osten, G. Gold-Bouchot, & C. Agraz-Hernández (Eds.), *Golfo de México. Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias* (2ª. ed., pp. 487-504). Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Ecología.
 - Yacuzzi, E. (2008). Chisso Corporation y la enfermedad de Minamata. *Serie Documentos de Trabajo*, No. 391. Universidad del Centro de Estudios Macroeconómicos de Argentina (UCEMA). Buenos Aires, Argentina.



Esta obra está bajo una licencia internacional [Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Usted es libre de Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato
Adaptar — remezclar, transformar y construir a partir del material
La licenciente no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Atribución — Usted debe dar crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciente.

NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con propósitos comerciales.

CompartirIgual — Si remezcla, transforma o crea a partir del material, debe distribuir su contribución bajo la misma licencia del original.