

Contaminación del agua e insuficiencia renal en la cuenca alta del río Grande de Santiago, Jalisco, México: una visión desde la perspectiva de la economía ecológica

Water pollution and kidney failure in the upper basin of the river Grande de Santiago, Jalisco, Mexico: an ecological economics perspective

Salvador Peniche Camps

Universidad de Guadalajara

Guadalajara, México

peniche@cucea.udg.mx

 ORCID: 0000-0001-8490-4178

Información del artículo

Recibido: 21/05/2023

Revisado: 13/12/2023

Aceptado: 17/12/2023

Online: 02/06/2024

Publicado: 10/01/2025

ISSN 2340-8472

ISSNe 2340-7743

DOI [10.17561/at.25.8065](https://doi.org/10.17561/at.25.8065)

RESUMEN

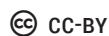
El objetivo de esta investigación consiste en analizar, desde la perspectiva teórico-metodológica de la economía ecológica, los impactos en la salud humana de la contaminación del agua en la cuenca alta del río Santiago, localizada en el occidente mexicano. El estudio se realizó con fuentes oficiales como la Comisión Nacional del Agua (CNA) y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), y estudios de especialistas. Se utilizó el método inductivo y la teoría de sistemas. El hallazgo fundamental de la investigación consiste en la determinación de las sinergias entre los elementos del sistema disruptivo de la cuenca. La principal limitación que presenta el estudio es la ausencia de un sistema de información sobre las características epidemiológicas en la zona de estudio. Consideramos que el trabajo proporciona un acercamiento novedoso y útil para el análisis y la incidencia de la crisis socioambiental en las cuencas del país.

PALABRAS CLAVE: Calidad del Agua, Impactos Socioambientales, Dinámica de Sistemas.

ABSTRACT

The objective of this research is to analyze, from the theoretical-methodological perspective of ecological economics, the impacts on human health of water pollution in the upper basin of the Santiago River, located in western Mexico. The study was carried out using official sources such as the National Water Commission and the Ministry of Environment and Natural Resources, and studies by specialists. The inductive method and systems theory were used. The fundamental finding of the research consists of the determination of the synergies between the elements of the disruptive system of the basin. The main limitation of the study is the absence of an information system on the epidemiological characteristics in the study area. We consider that the work provides a novel and useful approach for the analysis and incidence of the socio-environmental crisis in the country's river basins.

KEYWORDS: Water Quality, Socio-Environmental Impacts, System Dynamics.



Poluição da água e insuficiência renal na bacia do alto Rio Grande de Santiago, Jalisco, México: uma visão da perspectiva da economia ecológica

RESUMO

O objetivo desta pesquisa é analisar, desde a perspectiva teórico-metodológica da economia ecológica, os impactos sobre a saúde humana da poluição das águas na bacia alta do rio Santiago, localizada no oeste do México. O estudo foi realizado com fontes oficiais como a Comissão Nacional de Águas e o Ministério do Meio Ambiente e Recursos Naturais e estudos de especialistas. Foram utilizados o método induutivo e a teoria de sistemas. A conclusão fundamental da pesquisa consiste na determinação das sinergias entre os elementos do sistema disruptivo da bacia. A principal limitação do estudo é a ausência de um sistema de informação sobre as características epidemiológicas da área de estudo. Consideramos que o trabalho fornece uma abordagem nova e útil para a análise e incidência da crise socioambiental nos cuencas do país.

PALAVRAS-CHAVE: Qualidade da Água, Impactos Socioambientais, Dinâmica de Sistemas.

Pollution de l'eau et insuffisance rénale dans le bassin supérieur du Rio Grande de Santiago, Jalisco, Mexique: un point de vue du point de vue de l'économie écologique

RESUME

L'objectif de cette recherche est d'analyser, du point de vue théorico-méthodologique de l'économie écologique, les impacts sur la santé humaine de la pollution de l'eau dans le bassin supérieur de la rivière Santiago, situé à l'ouest du Mexique. L'étude a été réalisée à partir de sources officielles telles que comme la Commission Nationale de l'Eau et le Ministère de l'Environnement et des Ressources Naturelles et

des études de spécialistes. La méthode inductive et la théorie des systèmes ont été utilisées. Le résultat fondamental de la recherche consiste en la détermination des synergies entre les éléments du système perturbateur du bassin. La principale limite de l'étude est l'absence d'un système d'information sur les caractéristiques épidémiologiques de la zone d'étude. Nous considérons que le travail fournit une approche nouvelle et utile pour l'analyse et l'incidence de la crise socio-environnementale dans les cuencas du pays.

MOTS CLES : Qualité de l'Eau, Impacts Socio-Environnementaux, Dynamique des Systèmes.

Inquinamento idrico e insufficienza renale nel bacino superiore del Rio Grande de Santiago, Jalisco, Messico: una visione dal punto di vista dell'economia ecologica

SOMMARIO

L'obiettivo di questa ricerca è quello di analizzare, dal punto di vista teorico-metodologico dell'economia ecologica, l'impatto sulla salute umana dell'industria idrica nell'alto bacino del fiume Santiago, situato nel Messico occidentale. Lo studio è fornito da fonti ufficiali come la Commissione Nazionale per l'Acqua e il Ministero dell'Ambiente e delle Risorse Naturali e Studi Specialistici. Abbiamo utilizzato il metodo induutivo e la teoria dei sistemi. Il risultato fondamentale della ricerca consiste nella determinazione delle sinergie tra gli elementi del sistema dirompente del bacino. Il limite principale dello studio è la creazione di un sistema informativo con le caratteristiche epidemiologiche dell'area di studio. Ci auguriamo che il lavoro fornisca una nuova ed utile applicazione per l'analisi e l'incidenza della crisi socio-ambientale nei bacini del Paese.

PAROLE CHIAVE: Qualità dell'Acqua, Impatti Socio-Ambientali, Dinamica del Sistema.

Introducción

En un proceso generalizado de deterioro ecológico, en el año 2021 se dio a conocer la lista de lo que la autoridad ambiental federal mexicana denominó los “infiernos ambientales” o regiones en situación de colapso socioambiental:

“Tenemos en México una serie de regiones que nos duelen todos, se pueden definir como infiernos ambientales, Regiones de emergencia ambiental, una de las herencias del sistema neoliberal de gestión y de organización industrial totalmente desordenada y de una falta de cuidado y atención a ese derecho fundamental, el acceso a un medio ambiente y a un agua saludable”¹.

La cuenca alta del río Santiago está incluida en la relación de zonas de emergencia por el grado de deterioro socioambiental que la caracteriza (Figura 1). La región presenta uno de los niveles más altos de destrucción de México y América Latina².

Figura 1. Contaminación en el río Santiago



Fuente: el autor.

¹ Milenio, Política, “Conahcyt identifica 50 regiones contaminadas en México; las llama ‘infiernos ambientales’”, 18 de febrero de 2021. <https://www.milenio.com/politica/conahcyt-identifica-50-regiones-contaminadas-infier-nos-ambientales>.

² Barreda Marín, 2020.

La cuenca tiene una superficie de 192.106 km² y recorre el estado de Jalisco desde el lago de Chapala, ocupando 50 % de su territorio. En la cuenca habita 70 % de la población jalisciense y forma parte de la Región hidrológico-administrativa VII, denominada Lerma-Santiago-Pacífico³.

La situación de la cuenca alta del río Santiago constituye un caso paradigmático de las consecuencias socioambientales del modelo de desarrollo orientado al sector externo que puede ser considerado como una regularidad en América Latina en la era de la globalización.

Ciertamente, como señala Garnero, en la región:

“Particularmente distintiva fue la transición desde el control local al desarrollo de los recursos hídricos por parte de los estados-nación emergentes. Esta pretensión dio lugar a una misión hidráulica del Estado, la convicción de que cada gota perdida se desperdicia y que debe desarrollarse la infraestructura que capture toda el agua posible para el uso humano”⁴.

³ Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP) y Comisión estatal del agua de Jalisco (CEAJ), 2010.

⁴ Garnero, 2022, 37.

Aunque la cuenca empezó a transformarse desde el siglo XIX con la construcción de una de las primeras presas hidroeléctricas del país en los municipios de El Salto y Juanacatlán, Jalisco, en 1895⁵, y continuó con la instalación de las plantas industriales de Nestlé (1935) y Ciba-Geigy (1965), el deterioro acelerado de las condiciones ambientales del río Santiago se agudizó a partir de 1994 con la instauración del corredor industrial maquilador más grande del occidente del país y el impulso a la inversión extranjera que generó el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN).

El impulso de la estrategia de desarrollo orientado al mercado externo representa un parte aguas en el proceso de disruptión del metabolismo social en la región de estudio. Es a partir de esta época, con el incentivo que ofrece el mercado norteamericano, que la zona sufre un cambio cualitativo, un ordenamiento económico particularmente agresivo al medioambiente. Desde la puesta en marcha del acuerdo de integración norteamericana, se han instalado en el corredor industrial alrededor de 741 plantas⁶. El estudio del colapso de la cuenca del río Santiago es importante porque ilustra de manera clara los efectos socioambientales del modelo económico orientado al exterior.

A partir de esto señalamos que el colapso de la cuenca es el resultado de una falla masiva de política hídrica en el país, política que sacrifica las zonas periurbanas en favor de los centros urbanos a lo largo del país. Como señala Castillo, la revisión de la literatura sobre el tema sugiere esta conclusión preliminar:

“El crecimiento urbano en zonas periféricas ha sido estudiado por diversos autores desde 1970. Sobre todo, cercanías a la ciudad de México. Sus trabajos revelaron la forma en que se reproducía la ciudad en sus márgenes, en donde la participación ciudadana se daba en medio de luchas de intereses, relaciones clientelares, corporativismo, compadrazgos, entre otras subordinaciones en el acceso a los servicios públicos. El crecimiento acelerado de las ciudades hacia las periferias ha generado una desigualdad política, económica, social y cultural en sus pobladores. Por lo tanto, aunque no se hable de dotación de agua en sí, los autores mencionados otorgan un panorama del dominio de las élites de poder en dotación de servicios básicos”⁷.

Este artículo analiza el problema del colapso de la cuenca alta del río Santiago y sus impactos en la salud humana desde la perspectiva teórico-metodológica de la economía ecológica, es decir, a partir de la caracterización de la fractura del metabolismo socioambiental de la región. En particular, consideramos el deterioro socio ambiental de la zona de estudio una manifestación de la deuda ecológica, es decir, “...la deuda contraída por los países industrializados con los demás países a causa del expolio histórico y presente de los recursos naturales, los impactos ambientales exportados y la libre utilización del espacio ambiental global para depositar sus residuos”⁸.

La originalidad y justificación de la investigación se deriva de la aplicación del enfoque de la economía ecológica para explicar el deterioro de las cuencas hidrográficos. En particular, nos referimos a la determinación del concepto ordenador de “deuda ecológica”, el cual permite estructurar el sistema de relaciones entre los fenómenos económicos, sociales y ambientales que han causado en el colapso de la cuenca alta del río Santiago. Desde la perspectiva metodológica inductiva, la investigación analiza las dinámicas presentes en la zona para establecer regularidades en el comportamiento de las cuencas hidrográficos a partir de la visión teórica de la economía ecológica.

Las preguntas de investigación que guían el estudio se expresan de la siguiente manera: ¿Cuáles son los mecanismos económicos que determinan la contaminación del agua en la zona de estudio y cómo se interrelaciona esto con la aparición de la crisis de enfermedad renal entre la población local?

De esta manera, el estudio constituye una explotación en el campo de la bioética, en tanto expresa la relación entre la calidad del medio ambiente y la salud humana:

“El neologismo “bioética”, aunque tradicionalmente incorporado a la ética médica y asociado a dilemas derivados de la rápida inserción de la tecnología en la vida cotidiana, agrega desde su origen, la intención de mostrar que la salud humana está directamente vinculada con lo ambiental, social y cultural”⁹.

La estrategia metodológica de la investigación es la dinámica de sistemas.

⁵ Ibáñez González, 2015.

⁶ Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), 2020.

⁷ Castillo Figueroa, 2018, 40.

⁸ Russi et al., 2003, 13.

⁹ Filla Rosaneli et al., 2022, 113.

Este enfoque inductivo utilizado por la economía ecológica permite analizar con rigor las sinergias que se generan de las relaciones (inciertas y no jerárquicas) entre los elementos de los sistemas socioambientales¹⁰. Para responder a la pregunta de investigación planteada, se establecen relaciones entre los elementos que conforman el sistema de devastación ambiental en la zona de estudio (la política de desarrollo regional orientada a la integración hemisférica, el incremento de los niveles de contaminación y la aparición de la epidemia de insuficiencia renal) y se determinan parámetros que permiten obtener una interpretación holística del problema de estudio, el entendimiento de las causas del comportamiento destructivo del sistema y las áreas de intervención para su transformación.

La morbilidad seleccionada en el estudio responde a lo reportado por la Academia Nacional de Medicina¹¹, y a estudios elaborados por el Instituto Mexicano del Seguro Social, que señalan al estado de Jalisco como una de las regiones más afectadas por este mal. De acuerdo con las fuentes señaladas:

“Méjico tuvo en 2008 la tasa de incidencia más alta de enfermedad renal terminal en el mundo, con 557 casos/millón de habitantes en el estado de Morelos y 400 casos/millón de habitantes en Jalisco, solo seguido de Taiwán y los Estados Unidos (384 y 362 casos/millón de habitantes, respectivamente)¹².

Los contaminantes seleccionados de acuerdo con los informes oficiales sobre la calidad del agua (determinados a partir de las normas oficiales y procedimientos técnicos que establece la autoridad mexicana), son el arsénico, el cadmio, el mercurio y el plomo, por ser estas sustancias, según los reportes científicos, las más dañinas para el funcionamiento del sistema urinario humano¹³. Planteamos la hipótesis de que la presencia ubicua y por arriba de las normas recomendadas de los contaminantes señalados es un factor relevante en el aumento en flecha de los casos de insuficiencia renal entre los habitantes de la zona de estudio. Las bases de datos utilizadas provienen de los reportes oficiales de agencias gubernamentales como la Comisión Estatal del Agua de Jalisco (CEAJ)¹⁴, del Instituto Nacional de

Estadística, Geografía e Informática¹⁵ y de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales¹⁶.

El texto se divide en una introducción, 4 apartados y la sección de conclusiones: en el primer apartado se elabora un diagnóstico de los estudios que han abordado el tema de la relación del deterioro ambiental con la salud humana en la zona de estudio, desde la perspectiva teórica, el estado de la cuestión y el estado del arte. En el segundo, se describe el fundamento teórico de la investigación. El tercer apartado de aboca a desarrollar el aparato metodológico de la dinámica de sistemas para el estudio de la deuda ecológica. El cuarto y último apartado se refiere a la discusión de los resultados.

Revisión de la literatura

Revisión teórica. La investigación se fundamenta en la visión teórica de la economía ecológica, escuela heterodoxa del pensamiento social la cual, más que una disciplina consiste en un acercamiento teórico-metodológico transdisciplinar y sistemático propuesto por académicos de la estatura intelectual de Kenneth Boulding¹⁷, Nicolai Goergescu Roegen¹⁸, German Daly¹⁹, Joan Martínez Alier²⁰ y Donella Meadows²¹, entre otros. Para el abordaje del tema de la investigación, se consideran las implicaciones investigativas de conceptos como el metabolismo social, la deuda ecológica, la entropía y la dinámica de sistemas, planteados por los autores como pilares del pensamiento económico ecológico.

Estado de la cuestión. Dada la gravedad del problema y los efectos de la degradación ambiental en la población, la discusión sobre el tema de investigación ha tenido un gran impulso en años recientes. En particular, nos referimos a los trabajos de académicos como los de McCullagh²², quien ha profundizado en el conocimiento sobre la situación de la cuenca, la investigación sobre los niveles de escasez de agua con las contribuciones científicas de Gleason²³ y las de Lezama²⁴ (2018) sobre los costos sociales de la política hídrica federal. Por

¹⁰ Capra, 1996.

¹¹ Tamayo; Orozco; Lastiri Quirós, 2016.

¹² Chávez-Gómez et al., 2016, 727.

¹³ Díaz García; Arceo, 2018. Sabath; Robles-Osorio, 2012

¹⁴ CEAJ, 2021

¹⁵ Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 2019

¹⁶ Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2019

¹⁷ Boulding, 1978

¹⁸ Roegen, 1996

¹⁹ Daly, 1991

²⁰ Martínez Alier, 2009

²¹ Meadows, 2008

²² McCullagh, 2019

²³ Gleason Espíndola, 2011

²⁴ Lezama Escalante, 2018.

su parte, Lozano²⁵ ha contribuido en el estudio de los aspectos de salud pública de la emergencia ambiental.

Los problemas relacionados al deterioro de las condiciones ambientales de la cuenca alta del río Santiago han sido ampliamente abordados tanto por instancias internacionales como por agencias gubernamentales de todos los niveles, por instituciones académicas, organizaciones no gubernamentales y grupos comunitarios (CONAGUA²⁶, SEMARNAT²⁷, Greenpeace²⁸, SEMADET²⁹, UNAM³⁰).

En el ámbito internacional, el año 2013 fue publicado el Expediente de Hechos sobre la cuenca hidrológico-administrativa número VIII, Lerma Chapala Santiago, de la Comisión de Cooperación Ambiental (CCA)³¹ del extinto Tratado de Libre Comercio para América del Norte (TLCAN). Este documento reunió los argumentos que grupos ciudadanos e instituciones autónomas interpusieron ante el tribunal internacional para asuntos ambientales del TLCAN y describe a detalle el alto grado de contaminación, las afectaciones a la salud de los pobladores de la región y las omisiones de la autoridad para evitar el colapso de la cuenca.

En el año 2018, la Comisión Nacional del Agua publicó los resultados de un estudio efectuado en la cuenca alta del río Santiago, el cual confirma la gravedad del problema de contaminación identificada en el informe de la CCA. Los resultados oficiales de los 28 sitios de medición señalan que el río se encuentra “fuertemente contaminado” y con altos niveles de toxicidad³².

En lo que respecta al impacto de la calidad del agua en la salud de la población, el estudio más completo lo realizó la Universidad Autónoma de San Luis Potosí con la Comisión Estatal del Agua del estado de Jalisco (CEAJ). Los resultados de la “Propuesta Metodológica para la implantación de una batería de indicadores de salud que favorezcan el establecimiento de programas de diagnóstico, intervención y vigilancia epidemiológica en las poblaciones ubicadas en la zona de influencia de la presa de Arcediano en el estado de Jalisco”, dan fe sobre las graves afectaciones en la población infantil derivadas de los altos niveles de contaminación. El estudio tuvo como fundamento metodológico un análisis multidimensional con base en la selección

de las zonas y población de estudio, lo cual establece parámetros estadísticos de gran certidumbre. Los resultados indican que la presencia de tóxicos en el agua en los ríos y cuerpos de agua de la cuenca ocasiona graves afectaciones en la salud de los infantes. En particular, el documento señala que los niños presentan altas concentraciones de metales pesados en la sangre, lo cual ocasiona deterioro neurológico y cuadros de insuficiencia renal y hepática, entre otros cuadros clínicos.

“Los escenarios de riesgo sanitario, muestran evidencia de los problemas generales de salud, que de manera significativa padecen las poblaciones infantiles que viven en las comunidades que se ubican en alta colindancia con el río Santiago. De acuerdo a esto, las mayores tasas y riesgos de morbilidad se identifican en las comunidades de Puente Grande, La Cofradía, Juanacatlán y El Salto, manifestando altas prevalencias en aspectos tales como alteraciones neuropsicológicas (disminución de habilidades cognitivas, bajo aprovechamiento escolar y trastornos del sueño), alteraciones hematológicas, obesidad, padecimientos de la piel, alergias, alteración de las conjuntivas oculares, cefaleas y, siendo importante de resaltar, fuertes antecedentes familiares de neoplasias, diabetes e hipertensión arterial”³³.

Si bien los índices de contaminación han sido parcialmente documentados por instancias oficiales e independientes, el estudio de los efectos sociales de la exposición a sustancias tóxicas en el río Santiago, son limitados. En general, el acceso a la información sensible sobre el tema ha sido tortuoso ya que la crisis del agua ha sido considerada un asunto de seguridad regional por los actores políticos y con frecuencia los estudios han sido ocultados.

En un informe elaborado por la asociación “Un salto de vida” de la comunidad de El Salto localizada en las inmediaciones de la cuenca, en colaboración con Greenpeace y la Unión de Científicos Comprometidos con la Sociedad, se establece que los padecimientos relacionados con el contacto con contaminantes, tales como la insuficiencia renal, infecciones intestinales, hipertensivas y crónicas respiratorias, rebasan la media estatal. El reporte concluye que para poder entender la gravedad del problema es necesario realizar estudios y análisis de riesgo que determinen con más precisión la relación

²⁵ Lozano Kasten, 2017.

²⁶ Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 2018.

²⁷ Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), 2007.

²⁸ Greenpeace, 2016.

²⁹ Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial (SEMADET), 2016.

³⁰ Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), 2017.

³¹ Comisión de cooperación ambiental, 2013.

³² Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 2018.

³³ Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP) y Comisión Estatal de Agua de Jalisco (CEAJ), 2010, 296.

entre el cóctel de contaminantes que presenta el río y la batería de enfermedades que padecen los habitantes de la zona³⁴.

Estado del arte. La determinación causal del deterioro de la salud y el deterioro ambiental constituye uno de los aspectos más controversiales en las ciencias socioambientales.

Castillo reporta la presencia de arsénico, cadmio, cromo, mercurio, plomo y níquel, en los cuerpos de la población infantil. En el estudio, el autor señala que la población en situación de riesgo por la contaminación industrial alcanza la cifra de 557.736 personas, debido a que habitan en la proximidad de las zonas más afectadas³⁵.

Esta misma metodología, la identificación de personas con residuos contaminantes en el cuerpo, con cuadros clínicos específicos, es utilizada por Santana. La autora reporta las cifras de las agencias de salubridad sobre la incidencia de enfermedad obstructiva crónica, tumores malignos y enfermedades isquémicas del corazón, especialmente a partir de 2004 hasta la fecha. Además, se señala la presencia de complicaciones durante el embarazo de las mujeres que habitan las comunidades ribereñas, afectaciones en tallas y malformaciones en los neonatos, además de daño citológico y malformaciones genéticas³⁶.

Martínez y Hernández abordan el problema —la determinación algún grado de causalidad entre la contaminación del río Santiago y las enfermedades de los habitantes de la región—, con una estrategia metodológica diferente. Después de calcular los grados de contaminación, los autores elaboran criterios de bienestar para ser evaluados en una escala de Likert y por medio de entrevistas focalizadas. De esta manera, las afectaciones ambientales se “traducen” en factores que influyen en la disminución del bienestar, relacionando el contaminante con las consecuencias de la presencia de este en la salud³⁷.

Como se puede observar, los estudios realizados se fundamentan en la observación de un universo de actores, individuos determinados de manera espacial. La elaboración de hipótesis de acuerdo con interpretaciones causales relativas a la presencia de contaminantes en el cuerpo de los pacientes o la presencia de patologías que suelen presentarse con la exposición

de contaminantes de las personas afectadas resulta un buen indicador, pero requiere del acompañamiento de herramientas metodológicas más robustas.

El concepto de deuda ecológica en el aparato teórico de la economía ecológica

El fundamento teórico de la investigación lo constituye la Economía ecológica. Desde esta perspectiva, el deterioro del medio ambiente se interpreta como una ruptura metabólica, como una disruptión del metabolismo social (forma socio-históricamente determinada de utilización de los recursos naturales y energía en el proceso de producción y consumo), ocasionada por la aplicación del modelo económico vigente³⁸.

Así, el “modelo económico vigente”, orientado al exterior, se concibe como un sistema que tiene como comportamiento emergente la ruptura metabólica en la cuenca alta del río Santiago. En este sistema, la categoría de “deuda ecológica” tiene un lugar preponderante ya que funciona como hilo conductor que explica los procesos que amenazan la estabilidad de los ecosistemas. En la zona de estudio, la ruptura se define como el resultado de la práctica consuetudinaria de los procesos económicos internacionales (como es el caso de la generación de la deuda ecológica), procesos que condicionan su deterioro permanente y acelerado. Por práctica consuetudinaria nos referimos a la implementación normalizada de la política económica y las estrategias de participación de las plantas instaladas en la región, que compiten en el mercado internacional.

“La deuda ecológica surge de dos conflictos de distribución ecológica separados: primero, las exportaciones de materias primas y otros productos provenientes de países relativamente pobres son vendidos a precios que no incluyen la compensación por las externalidades locales o globales. En segundo lugar, el uso desproporcionado por parte de los países ricos del espacio o servicios ambientales sin retribución monetaria y hasta sin reconocimiento u otro tipo de derechos para la prestación de tales servicios (por ejemplo, el uso desproporcionado de los sumideros y reservas de dióxido de carbono)”³⁹.

Por la interdependencia existente entre la calidad del agua y la salud humana, la definición ofrecida permite interpretar la crisis de nefropatía en la zona de estudio como un componente de la deuda ecológica

³⁴ Un Salto de Vida, noviembre 2020. “La Cuenca Chapala Santiago como zona de sacrificio.” *La Jornada*. <https://www.jornada.com.mx/2020/11/21/delcampo/articulos/cuenca-chapala-santiago.html>

³⁵ Castillo Figueroa, 2021.

³⁶ Santana Belmont, 2017.

³⁷ Martínez González; Hernández, 2009.

³⁸ Foster, 1999.

³⁹ Martínez Alier, 2009, 5.

ya que consideramos la contaminación del recurso “agua” como un ejemplo de “el uso desproporcionado de servicios ambientales sin retribución monetaria”. Desde los inicios del modelo de apertura comercial, en la estrategia de promoción de la inversión extranjera y el fomento de exportaciones, el acceso irrestricto a las fuentes de agua de la zona de estudio figuró como uno de los principales atractivos estratégicos⁴⁰.

Para clarificar, citemos la clasificación de Russi de las categorías que conforman la deuda ecológica que los países del sur acumulan como resultado de la aplicación del modelo de desarrollo descrito:

“La deuda ecológica es la deuda contraída por los países industrializados con los demás países a causa del expolio histórico y presente de los recursos naturales, los impactos ambientales exportados y la libre utilización del espacio ambiental global para depositar sus residuos”⁴¹.

Consecuentemente, en el estudio nos referimos, en particular, a los pasivos ambientales que han sido generados por el deterioro de la calidad del agua. Se trata de la deuda ecológica contraída por las empresas exportadoras, instaladas en la región.

En resumen, hemos observado que las afectaciones relacionadas con el deterioro de la salud de los habitantes de la cuenca alta del río Santiago constituyen un pasivo socioambiental de la deuda contraída, un saldo derivado del deterioro de los términos de intercambio ecológico entre México y las empresas vinculadas a los procesos de apertura económica⁴². La enfermedad y muerte de los pobladores de la cuenca constituye una parte de la deuda ecológica intrínseca del modelo de desarrollo, el cual utiliza la región como un sumidero de uso gratuito, libre de pagos sobre las externalidades ocasionadas.

Estrategia metodológica: la dinámica de sistemas como herramienta útil para identificar la generación de la deuda ecológica.

⁴⁰ Partida Rocha, 2004.

⁴¹ Russi *et al.*, 2003, 14.

⁴² Principales empresas contaminantes instaladas en la zona de estudio y vinculadas al proceso de apertura económica: Apelsa, Asociación de Colonos del Parque Industrial El Salto A.C., BorgWarner Morse Systems Mexico, S.A. de C.V., Descarga José Cuervo (Punto de Descarga), Descarga Tequila 7 Leguas Fábrica Vencedora, Descarga Tequilera Casa Patrón (Patrón Spirits), Hershey México, S.A. de C.V., Honda de México, S.A. de C.V., Maquiladora de Oleaginosas, S.A. de C.V. Nestlé Servicios Industriales S.A. de C.V. (Ocotlán), Nestlé Servicios Industriales S.A. de C.V. (Zula), Parque Industrial Guadalajara, entre otros (*Tribuna de la Bahía*, noticias. <https://tribunadelabahia.com.mx/29-empresas-senaladas-por-contaminacion-del-rio-santiago-31377/>)

Abordamos los impactos en la salud humana —en el caso de la insuficiencia renal— del deterioro de la calidad del agua en la zona de estudio. Para ello aplicamos la dinámica de sistemas, método deductivo de la economía ecológica, que permite analizar los datos empíricos para encontrar regularidades del comportamiento del sistema. El sistema analizado pretende modelar las relaciones económico-socioambientales del funcionamiento de las cuencas hidrográficas en general, bajo las condiciones que caracterizan las relaciones económicas internacionales de la actualidad.

Un sistema es un conjunto de elementos relacionados entre sí por medio de bucles de retroalimentación. El principio fundamental del análisis sistemático consiste, consecuentemente, en determinar la naturaleza de las relaciones entre sus elementos y que, en conjunto, generan el comportamiento emergente del sistema. La potencia del método reside en que determina la relación entre estructura y función a través de arquetipos. Las sinergias entre los elementos del sistema, denominadas “bucles de retroalimentación”, caracterizadas por interacciones de refuerzo (de signo positivo) o de contradicción (de signo negativo), determinan la naturaleza del comportamiento del sistema. De esta manera, dos elementos interactuando pueden fortalecer una inercia en el comportamiento del sistema, si su retroalimentación es positiva (p. ej., a mayor contaminación mayor incidencia de enfermedad), o pueden revertirlo, si su interacción es negativa (p. ej., a mayor inspección sobre la calidad del agua, menor flujo de contaminantes).

Desde la perspectiva metodológica de la dinámica de sistemas, los procesos de deterioro socioambiental son, por definición, complejos, es decir, que las relaciones entre sus elementos (económicos, sociales y ambientales), se caracterizan por ser no jerárquicas e inciertas. Por ello, con el objetivo de analizar el mecanismo por el cual se ha dado la ruptura metabólica en la zona de estudio construimos un sistema complejo que describe las sinergias que determinan su comportamiento actual.

El sistema de la organización productiva en la cuenca alta del río Santiago se construye de acuerdo con la perspectiva de indicadores socioambientales de Guttman. La visión teórica detrás de este instrumental parte de la idea de la necesidad de incorporar criterios conceptuales que permitan el acercamiento a la realidad compleja de manera holística⁴³.

El modelo teórico supone que el vínculo entre la sociedad y el medio ambiente es bidireccional y

⁴³ Guttman Sterimberg *et al.*, 2004.

coexiste, de manera dialéctica, en relación con sus diversos componentes: a) el clima, la flora y la fauna, b) la orografía, suelo y agua, c) la energía y la tecnología, d) los aspectos demográficos, económicos y políticos, y e) los aspectos socioculturales.

En el estudio que se presenta, el ámbito socioambiental se expresa a través de un sistema complejo acotado, es decir, un esquema de relaciones interdeterminadas que caracterizan el metabolismo social en el espacio específico de estudio. Para ello se consideran elementos relativos a la calidad del agua, la tecnología de saneamiento, aspectos demográficos, económicos y políticos. Los pasivos ambientales generados por el sistema se expresan en la saturación de contaminantes, en particular de metales pesados (arsénico, plomo, cadmio y mercurio), que a su vez han ocasionado el surgimiento de la epidemia de insuficiencia renal entre la población local.

Según el modelo de Meadows construiremos el sistema siguiendo los pasos correspondientes: a) definición del contexto, b) análisis de datos, c) definición de comportamiento del sistema y d) determinación de las relaciones causa-efecto de los elementos del sistema⁴⁴.

a) Definición del contexto

La ruptura metabólica determina la disrupción de los ciclos que favorecen la existencia de la vida. Por ello, utilizamos el concepto de deuda ecológica (es decir, la generación de saldos ecológicos negativos derivados de las condiciones de integración económica al mercado mundial), como herramienta teórica para explicar los mecanismos y escala del proceso.

El modelo analítico plantea que el acelerado deterioro de la salud humana en la zona de estudio está funcionalmente vinculado al desempeño del modelo económico orientado al exterior, a través de la generación de la deuda ecológico-hídrica.

Estudios epidemiológicos señalan que la presencia de metales pesados en el agua, tales como el arsénico, plomo, cadmio y mercurio, ya sea por consumo directo o por exposición a fuentes contaminadas, pueden constituirse en un factor de riesgo para la población, específicamente en lo referente a la aparición de cuadros de insuficiencia renal⁴⁵.

El estudio comprende a las poblaciones que se encuentran en contacto con los habitantes de 35 municipios que integran la cuenca alta del río Santiago (Acatic, Ahualulco de Mercado, Amatitán, Arandas, Atotonilco el Alto, Ayotlán, Chapala, Cuquío, El Arenal, El Salto, Guadalajara, Hostotipaquito, Ixtlahuacán de los Membrillos, Ixtlahuacán del Río, Jamay, Jesús María, Jocotepec, Juanacatlán, La Barca, Magdalena, Ocotlán, Poncitlán, San Cristóbal de la Barranca, San Juanito de Escobedo, San Martín de Bolaños, Tepatitlán de Morelos, Tequila, Teuchitlán, Tlajomulco de Zúñiga, Tlaquepaque, Tonalá, Tototlán, Zapopan, Zapotlán del Rey y Zapotlanejo (Mapa 1).

b) Análisis de datos

El Mapa 1 ilustra el cauce del río Santiago y la localización de las estaciones de muestreo de la Comisión Estatal del Agua del estado de Jalisco de las cuales se obtuvieron los datos sobre la calidad del agua.

Por su parte, el Gráfico 1 expresa el porcentaje de emisiones por rubro de las empresas localizadas en la zona de estudio y por lugar de origen de la empresa.

Los datos expresados en el Gráfico 2, Gráfico 3, Gráfico 4 y Gráfico 5 señalan la evolución de cada contaminante con datos obtenidos de la Comisión Estatal del Agua Jalisco (CEAJ). Las muestras se obtuvieron de los 13 sitios de la red de monitoreo del río Santiago (Mapa 1), registrando la calidad del agua durante el periodo de 2009 al 2019. Se observa que el arsénico excedió el límite máximo permitido de 0.2 mg/l en una ocasión (Gráfico 2), que el plomo superó los 0.03 mg/l máximos permitidos 18 veces (Gráfico 3), que el cadmio rebasó los 0.004 mg/l en 102 eventos (Gráfico 4). De igual manera, el mercurio excedió el límite de 0.0005 mg/l en todos los registros (Gráfico 5)

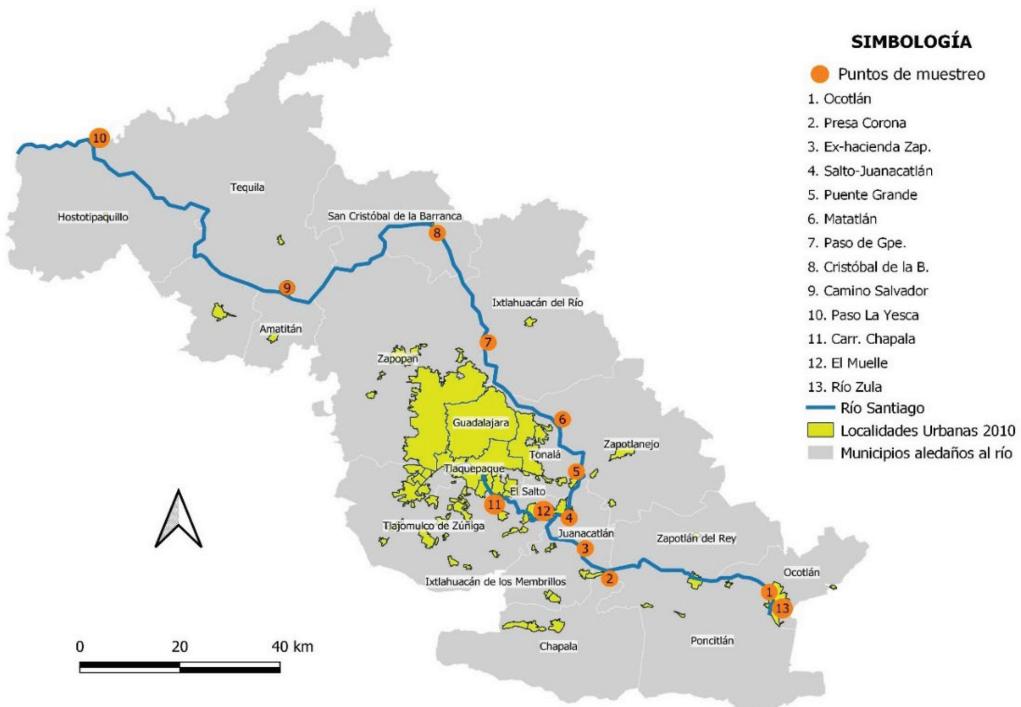
El Gráfico 6 expresa las emisiones totales por contaminante en la cuenca alta del río Santiago del año 2009 al 2019 y la Tabla 1 señala la cantidad de residuos de metales pesados emitidos por las empresas ubicadas en la cuenca alta del río Santiago y la cantidad de personas enfermas por insuficiencia renal al año, sumando los registros de los 18 municipios del área de estudio⁴⁶.

⁴⁴ Meadows, 2008.

⁴⁵ Díaz García; Arceo, 2018. Sabath; Robles-Osorio, 2012

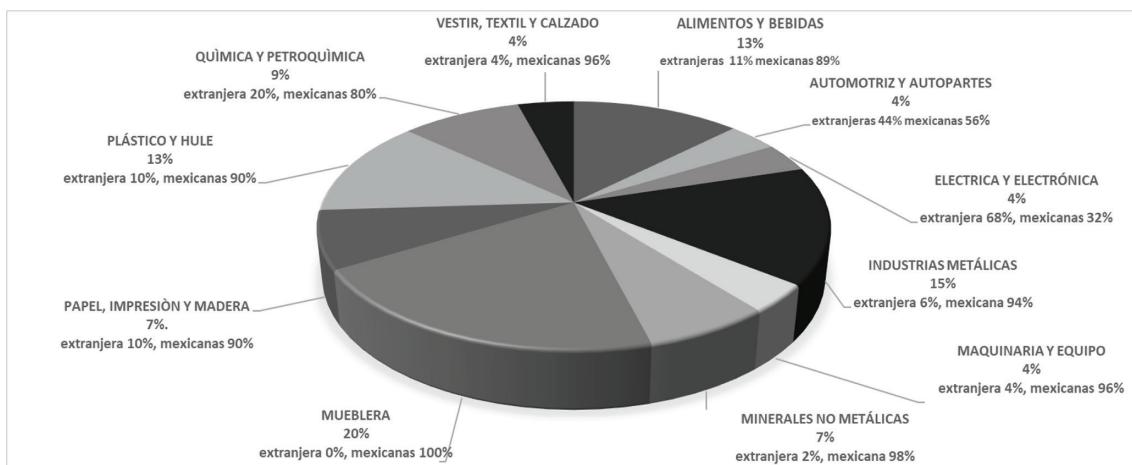
⁴⁶ Se capturó la información de las emisiones anuales de las empresas que se encuentran en el Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC) de la SEMARNAT para los metales pesados arsénico, plomo, cadmio y mercurio en el periodo 2009-2018. Para determinar la cantidad de personas con insuficiencia renal (tabla 1), se obtuvieron los datos del total de pacientes registrados en los hospitales en el periodo 2009-2018, INEGI, 2019.

Mapa 1. Localización del área de estudio y puntos de muestreo de la calidad del agua



Fuente: elaboración propia a partir del modelo vectorial (Marco Geoestadístico Nacional, Versión 5.0) del INEGI, 2010 y del CEAJ, 2021.

Gráfico 1. Emisiones de As, Cd, Hg y Pb por las empresas en el área de estudio, 2009-2019



Fuente: elaboración propia a partir de SEMARNAT, 2019.

c) Definición del comportamiento de sistema

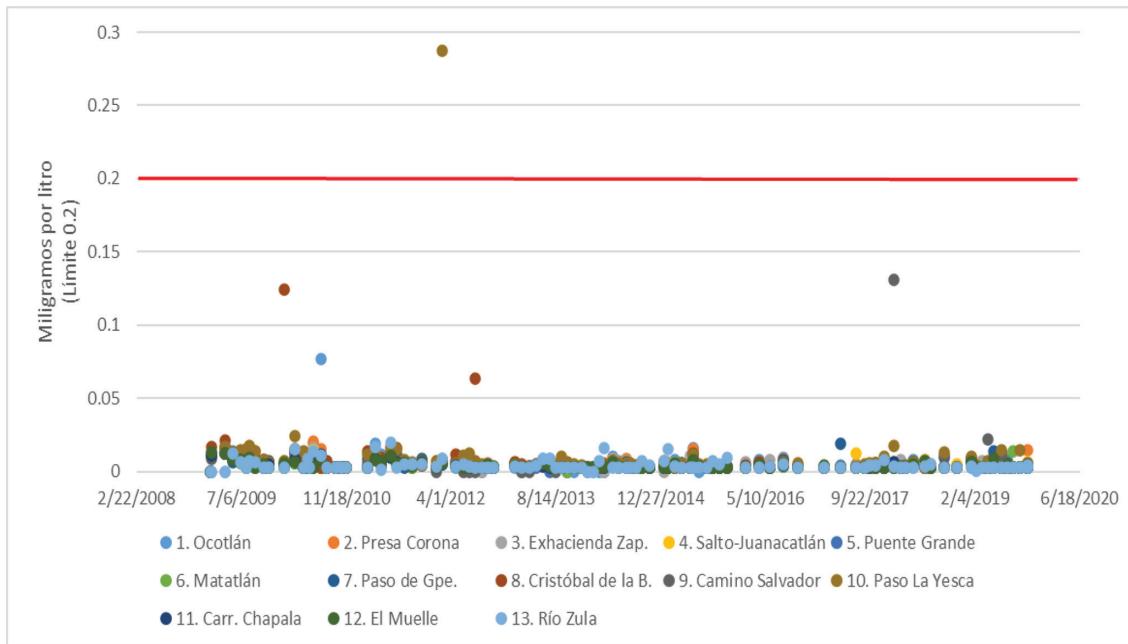
La cuenca alta del río Santiago constituye un espacio en proceso de disruptión metabólica. El deterioro del medio ambiente es permanente y acelerado debido, principalmente, a la expansión de la mancha urbana, el crecimiento de la frontera agrícola y al incremento en el número de empresas maquiladoras⁴⁷. Lo anterior

tiene como consecuencia la deformación hidro-geomorfológica de la cuenca y el deterioro de la calidad del aire, el agua y la tierra.

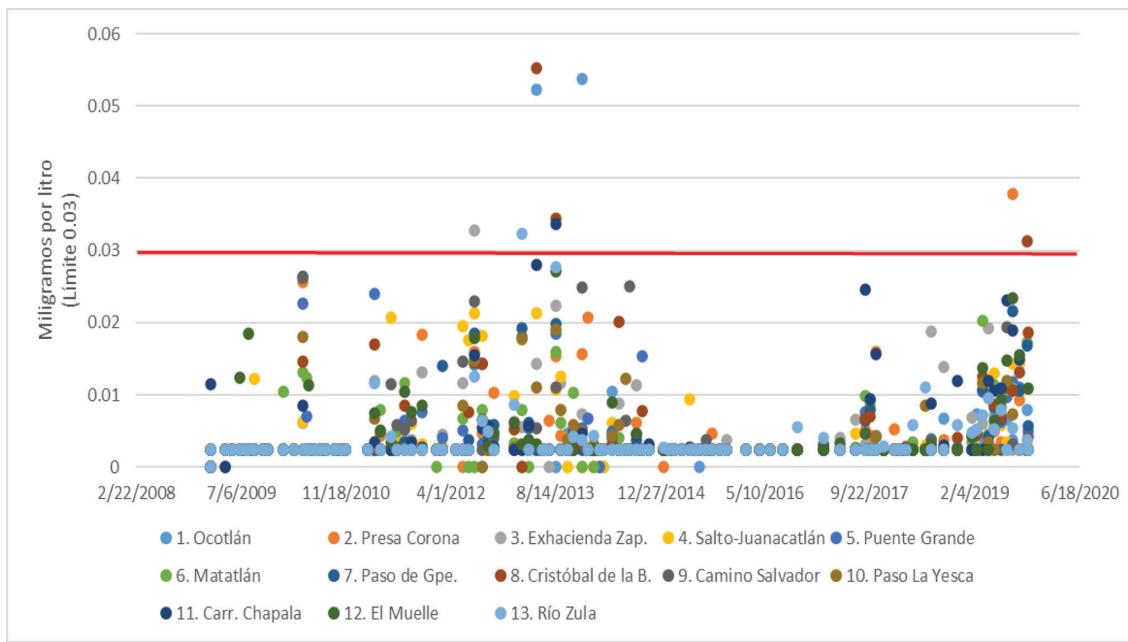
La estrategia de integración hemisférica ha promovido una dualidad tecnológica: un modelo energético altamente entrópico caracterizado por sectores productivos maquiladores de punta en convivencia con un amplio sector tradicional⁴⁸.

⁴⁷ Durán Juárez; Torres Rodríguez, 2006

⁴⁸ Peniche Camps, 2017

Gráfico 2. Muestras de arsénico en el río Santiago

Fuente: elaboración propia a partir de CEAJ, 2021.

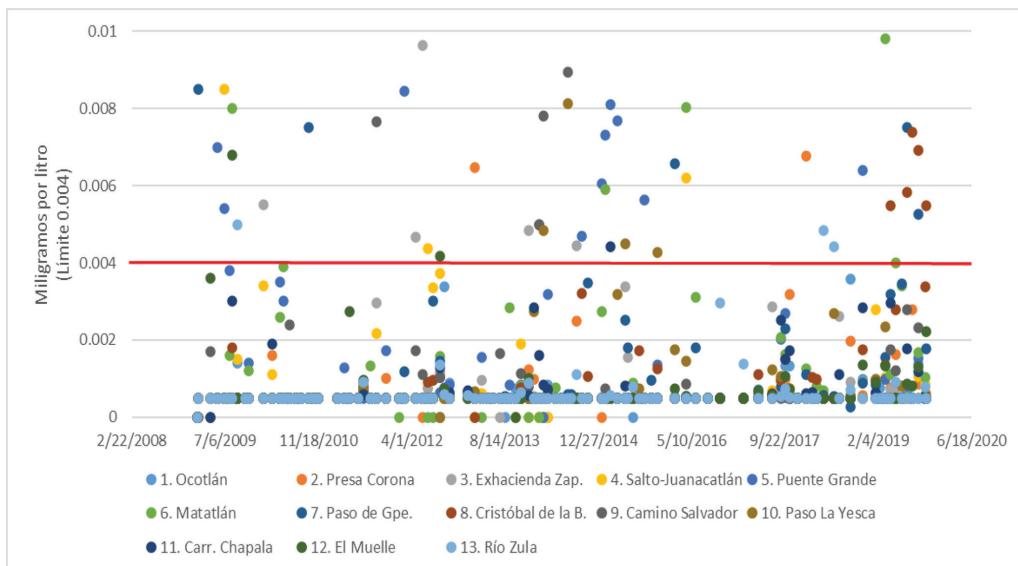
Gráfico 3. Muestras de plomo en el río Santiago

Fuente: elaboración propia a partir de CEAJ, 2021.

La política económica regional ha propiciado la concentración de la población y la producción y el crecimiento urbano acelerado de toda la cuenca alta del río Santiago, en particular de la Zona Metropolitana de Guadalajara. En esencia, la competitividad internacional de las empresas maquiladoras se deriva de un esquema

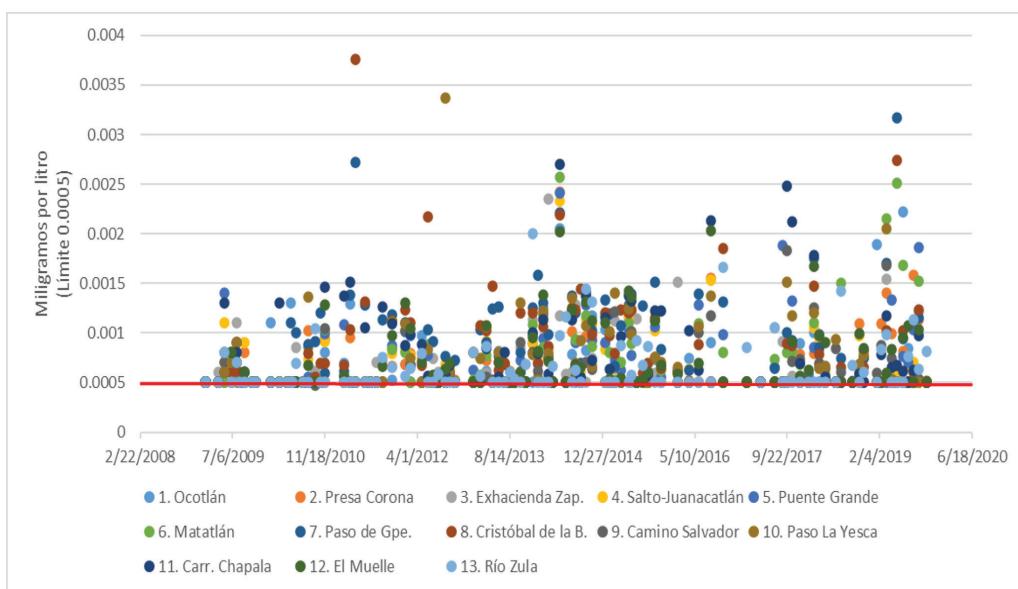
de condiciones que incluyen el subsidio ambiental (expresado en el acceso a grandes cantidades de agua de buena calidad y a normas ambientales inoperantes) y laboral (por el diferencial salarial entre México y sus principales socios comerciales), el acceso a infraestructura razonablemente funcional y barata y una relativa

Gráfico 4. Muestras de cadmio en el río Santiago



Fuente: elaboración propia a partir de CEAJ, 2021.

Gráfico 5. Muestras de mercurio en el río Santiago



Fuente: elaboración propia a partir de CEAJ, 2021.

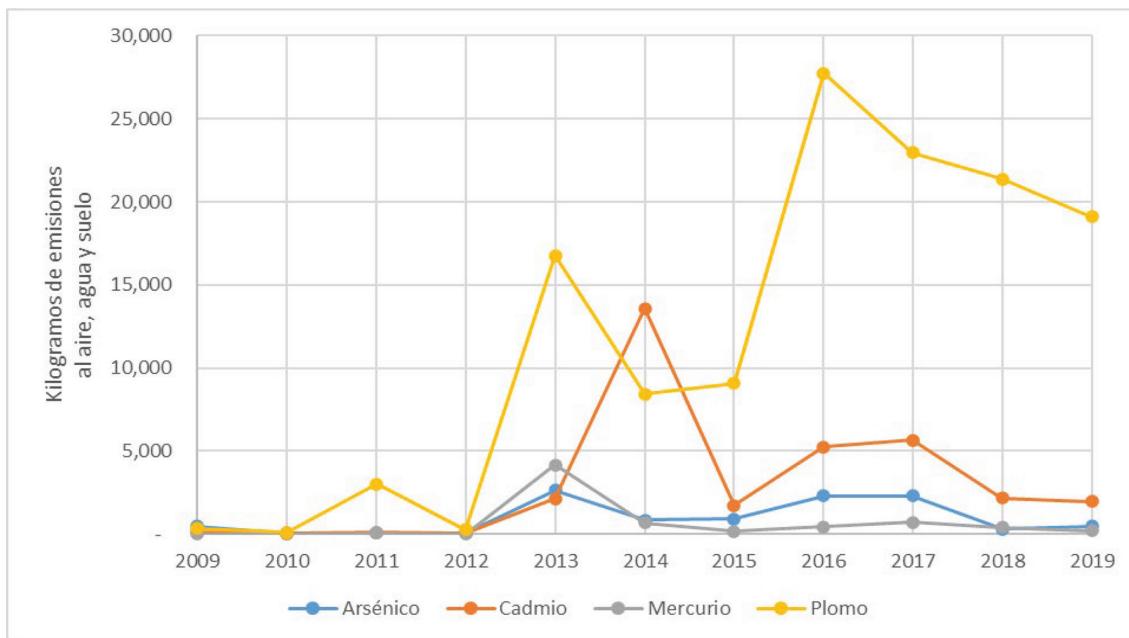
estabilidad política (aunque con la creciente presencia del crimen organizado en el ámbito político y público).

d) Determinación de las relaciones causa-efecto de los elementos del sistema

El esquema elaborado para determinar las relaciones causa-efecto del modelo de organización de la producción de la cuenca alta del río Santiago contiene 4 elementos: el modelo económico exportador, la calidad del agua, la morbilidad y la cohesión social (Figura 2).

Discusión de resultados

Los datos oficiales demuestran una dinámica de degradación de la calidad del agua en la cuenca, en particular en relación con los contaminantes que provocan afectaciones en el funcionamiento de los riñones (arsénico, cadmio, plomo y mercurio). La actividad productiva y las descargas de contaminantes en el río Santiago han llevado al colapso del río, como lo reconoce el programa federal de atención zonas de emergencia ambiental. La respuesta oficial en el Gobierno del estado ha sido el

Gráfico 6. Emisiones totales de contaminantes en la cuenca alta del río Santiago

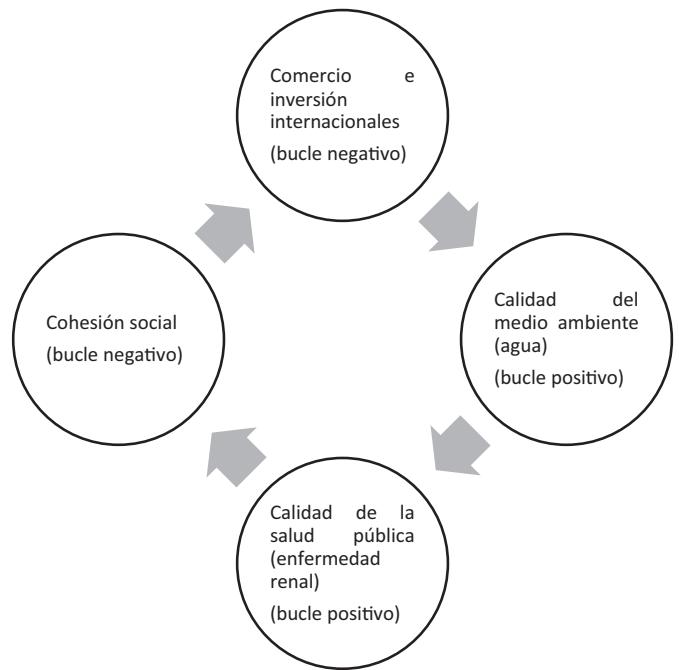
Fuente: elaboración propia a partir de CEAJ, 2021.

Tabla 1. Total de pacientes por insuficiencia renal y cantidad de As, Cd, Hg y Pb emitidos dentro de la cuenca alta del río Santiago (kg), 2009-2019

| Año | Pacientes de insuficiencia renal | Arsénico | Cadmio | Mercurio | Plomo |
|------|----------------------------------|----------|--------|----------|-------|
| 2009 | 947 | 472 | 1225 | 11 | 342 |
| 2010 | 945 | 62 | 22 | 9 | 115 |
| 2011 | 1109 | 58 | 86 | 83 | 3005 |
| 2012 | 1248 | 81 | 56 | 17 | 261 |
| 2013 | 1161 | 2673 | 2138 | 4152 | 16766 |
| 2014 | 1176 | 832 | 13584 | 666 | 8434 |
| 2015 | 1222 | 918 | 1739 | 185 | 9092 |
| 2016 | 1753 | 2305 | 5256 | 457 | 22736 |
| 2017 | 1967 | 2320 | 5639 | 723 | 22949 |
| 2018 | 2252 | 301 | 2181 | 417 | 21370 |
| 2019 | 2005 | 474 | 1975 | 205 | 19106 |

Fuente: elaboración propia a partir de INEGI, 2019 y SEMARNAT, 2019.

desarrollo de una estrategia de saneamiento del agua, por medio de la construcción de plantas de tratamiento. Sin embargo, tanto el fomento en el desarrollo industrial maquilador como las afectaciones en la salud de la población permanecen ausentes en la política pública. En la discusión de la política pública la raíz del problema está silenciada debido a los intereses económicos que conducen los destinos de la región y del país. La situación en las demás regiones de emergencia ambiental

Figura 2. Relaciones causales del modelo de organización de la producción en la cuenca alta del río Santiago

Fuente: elaboración propia.

declaradas por el Gobierno federal contiene características similares, a saber, el énfasis en la sobreexplotación de las fuentes de agua por el incentivo que ofrece el sistema para la exportación de agua virtual. Podemos concluir que el modelo económico vigente se fundamenta en la ventaja comparativa que ofrece la sobreexplotación del agua y la posibilidad de su contaminación.

El análisis del sistema de explotación del agua en la zona de estudio permite elaborar con profundidad sobre los temas descritos. La potencia analítico-deductiva de la dinámica de sistemas consiste en que permite establecer, de la relación entre los elementos del sistema, su comportamiento emergente. La metodología de la dinámica de sistemas supone el análisis de las relaciones entre los diferentes componentes y de ahí derivar las conclusiones del comportamiento.

El comportamiento emergente observado se describe a continuación:

1. Existe un bucle de retroalimentación negativa entre la intensificación de la política económica implementada en la región (integración hemisférica) y su impacto ambiental (huella hídrica). Es decir, a mayor integración menor calidad del agua.
2. A continuación, observamos un bucle de retroalimentación positiva: el que conforman la calidad del agua y la salud pública. Se observa que el deterioro de la calidad del agua conlleva a un descenso en los niveles de salud social (en particular relacionadas con la insuficiencia renal, aunque se pueden identificar otro tipo de condiciones médicas, como los padecimientos de la piel, los ojos o el sistema digestivo).
3. El deterioro de la calidad de la salud pública conduce al descenso en los niveles de cohesión social. Es decir, que, en el sistema, presenta, en esta etapa, un bucle de retroalimentación positiva.
4. Finalmente, la necesidad para mejorar los niveles de cohesión social conduce a los gobiernos a profundizar las estrategias de comercio e inversión internacional. Es decir, que se observa un bucle de retroalimentación negativo.

El modelo de organización de la producción en la cuenca alta del río Santiago se presenta como un sistema de reforzamiento, es decir, que su comportamiento emergente consolida sus tendencias iniciales destructivas. El modelo de desarrollo económico orientado al exterior genera un círculo vicioso en el que sus impactos negativos obligan a los gobiernos a profundizar su aplicación. Tal comportamiento se observa en las cuencas ubicadas en México y el resto del mundo, en las que se aplica el modelo económico orientado al mercado internacional, esquema que ofrece como incentivo para la inversión y exportación la posibilidad de ser aplicado.

La interpretación económico-ecológica del sistema de reforzamiento descrito consiste en la determinación

de la deuda ecológica en la cuenca alta del río Santiago. En particular, el comportamiento emergente del sistema, su contaminación permanente y acelerada y el incremento de la morbilidad renal, (considerados como costos concomitantes), constituye un saldo oculto derivado de la inversión, producción y el comercio internacional.

A diferencia de la interpretación dominante, caracterizada por la visión ingenieril y el énfasis en la construcción de plantas de tratamiento, la economía ecológica estructura el problema de investigación desde la perspectiva de la entropía y el metabolismo social. Para la visión de este acercamiento teórico-metodológico, la entropía, concepto emanado de la física teórica⁴⁹, explica cómo todo esquema productivo constituye, en esencia, un proceso de flujo de energía y por lo tanto está sujeto a las leyes universales de la termodinámica. La entropía, entendida como la medida de pérdida de energía y caos, puede interpretarse en términos de la sustentabilidad como la sobre explotación y contaminación de los recursos naturales y la destrucción ecológica del territorio. Desde esta perspectiva, la contaminación del río Santiago y sus impactos en la salud pueden interpretarse como un proceso entrópico y de disruptión del metabolismo social. Por su parte, este último concepto constituye uno de los bastiones teórico-metodológicos de la economía ecológica y expresa los efectos del sistema socioprodutivo de alta entropía en marcha en la zona de estudio, la contaminación del agua y la epidemia de enfermedad renal⁵⁰.

Si bien, como se ha establecido, los postulados sobre los efectos de la contaminación en la salud y en particular en la enfermedad renal expresados en el estudio se sustentan a través de investigaciones realizadas por académicos independientes, instituciones académicas y de los distintos niveles de gobierno, es importante señalar que entre las demandas más sentidas de los investigadores está la necesidad de la elaboración de un sistema de información que dé luz sobre la gravedad de la pandemia.

En la información disponible no existen estudios consolidados sobre los rangos de exposición y el contexto socioeconómico de los sujetos de estudio. Los estudios realizados indican la presencia generalizada de los contaminantes en los organismos de la población objetivo, en las zonas seleccionadas con índices de marginación media y baja (las comunidades ubicadas dentro de la

⁴⁹ Müller, 2010.

⁵⁰ González de Molina; Toledo Manzur, 2014

subcuenca Santiago-Guadalajara: la zona metropolitana de Guadalajara, que incluye El Salto y Juanacatlán). Los indicadores de salud, sociales y ambientales fueron establecidos de acuerdo con los criterios de morbilidad, exposición a agentes tóxicos e infecciosos, determinantes sociales (nivel socioeconómico y acceso a servicios de salud,) y el nivel de deterioro ecológico ocasionado por la permanente violación de la norma oficial mexicana en emisión de contaminantes industriales.

Con base en el muestreo significativo entre infantes y adultos, la investigación arroja los siguientes resultados relevantes para nuestro estudio:

- a. El porcentaje de prevalencias por la exposición directa de arsénico (30 %), cadmio (77 %), mercurio (60 %) y plomo (36 %) entre el total de la población estudiada.
- b. La presencia ubicua de padecimientos y morbilidad: respiratorio (47 %), gastrointestinal (16 %), dermatológico (41 %), conjuntivas oculares (66 %), alteración hematológica (36 %) desnutrición (16 %).

La urgencia sobre la aplicación de una política vigorosa para enfrentar la pandemia se deriva de la gravedad de la situación y las perspectivas de empeoramiento. Para la OMS⁵¹ a escala mundial, la enfermedad renal constituye la epidemia silenciosa más peligrosa de nuestros tiempos. Definida como “el padecimiento relacionado con la pérdida gradual de la función renal”, por su vaguedad sintomatológica, particularmente en sus etapas tempranas, “náuseas, vómitos, pérdida de apetito, fatiga y debilidad, problemas de sueño, cambios en la producción de orina, disminución de la agudeza mental, espasmos musculares y calambres, hinchazón de pies y el tobillo y presión arterial alta”, su diagnóstico oportuno no es común. Por lo anterior un diagnóstico epidemiológico de este mal representa un imperativo y un reto institucional de gran complejidad. Con datos proporcionados por el Instituto Mexicano del Seguro Social, el estado de Jalisco ocupa el primer lugar en el país en casos de insuficiencia renal, con 11.925, (casi 10 % del total), 98 % de ellos concentrados en los municipios que forman parte de la zona de estudio (Guadalajara, Zapopan, Tlaquepaque, Tonalá, Poncitlán, Tlajomulco, La Barca, Ixtahuacán, Ayotlán y Chapala)⁵².

Conclusiones

Según indican los datos recabados, en la zona de estudio se encuentran altas concentraciones históricas de metales pesados. Desde una perspectiva clínica, esto puede considerarse un factor de riesgo para la salud de los riñones de la población que habita en la cuenca alta del río Santiago. Debido a la ausencia de un programa comprensivo de manejo de la epidemia, la información estadística específica sobre su estado general del problema está diseminada o es de difícil acceso. Los indicadores utilizados, que pueden subestimar la magnitud del problema, son sobre los pacientes con insuficiencia renal, en el sistema hospitalario. Sin embargo, la información sobre el diagnóstico, el ritmo y la magnitud potencial del deterioro de los riñones de la población estudiada es una tarea pendiente.

Dada la condición de la cuenca, reflexiones similares sobre los impactos a la salud pública de la contaminación se pueden proponer con respecto a enfermedades gastrointestinales, cutáneas y oculares, así como malformaciones genéticas y disruptoras endocrinas. Son conocidos los efectos en este sentido del conjunto de contaminantes que contiene el agua del río Santiago y los mantos acuíferos que presentan, además de metales pesados, bacterias coliformes fecales, fenoles, fluoruros, fósforo, grasas y aceites, nitrógeno, sulfatos, sulfuros y plata, por encima de la Norma Oficial Mexicana gran parte del año a lo largo de toda la cuenca. La dificultad de la determinación causal proviene del hecho de que la suma de contaminantes no es igual a la suma de padecimientos y que los efectos en la población trascienden la lógica de una norma oficial única para toda la población ya que esta desestima las diferencias metabólicas de los individuos de acuerdo con la edad y el sexo, por mencionar un ejemplo.

El deterioro permanente y acelerado de la calidad y cantidad del agua en la cuenca alta del río Santiago se ha convertido en un obstáculo para el desarrollo económico regional. La ruptura del ciclo hidrológico, y el deterioro de las condiciones de vida y salud de la población han comenzado a constituirse en factores que inhiben la inversión y la actividad productiva.

La conclusión general de la investigación es que el deterioro de la salud de los habitantes de la cuenca alta del río Santiago, en particular la crisis de nefropatía, se debe a la disruptión metabólica generada por el modelo de desarrollo económico y de apertura comercial. El mecanismo socioambiental que genera el colapso en la zona de estudio constituye un círculo vicioso en

⁵¹ Gobierno de Jalisco, 2022

⁵² *El Informador*, “Jalisco encabeza la lista de enfermos renales”. 15 de noviembre de 2019. <https://www.informador.mx/Jalisco-encabeza-lista-de-enfermos-renales-1201911150001.html>

el cual la destrucción de los ecosistemas generada por el modelo de desarrollo genera las condiciones para su propia profundización. La importancia de tener un diagnóstico realista de las causas del colapso socioambiental consiste en que permite a) ver las limitaciones de la estrategia convencional de recuperación de las cuencas, consistente en la instalación de plantas de tratamiento y b) estimar los verdaderos puntos de intervención para una restauración de los equilibrios ecosistémicos.

El problema del deterioro de la calidad del agua constituye un ejemplo que ilustra la lógica de la generación de la deuda ecológica como el resultado del deterioro de los términos de intercambio ecológico: el intercambio de naturaleza por recursos económicos. Lo anterior nos refiere a la consideración de los saldos socioambientales del modelo de desarrollo regional y a cuestionar el argumento de la necesidad de la profundización de la apertura comercial.

De esta manera, la originalidad del trabajo consiste en vincular el problema de las afectaciones socioambientales con la conformación de una creciente deuda ecológica. Del comportamiento emergente del sistema se puede derivar una estrategia de remediación que no atraviese solo por una política de saneamiento de aguas, sino que considere como condición necesaria la transformación de las estrategias de desarrollo, de integración hemisférica y la implementación de una política destinada a saldar los montos derivados de la deuda ecológica. La importancia de los conceptos teóricos planteados, tales como el metabolismo social, la ruptura metabólica y la deuda ecológica consiste en que permiten una interpretación sistémica del proceso de degradación ambiental.

Agradecimientos

Se extiende un agradecimiento al programa PRONACE del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología por el apoyo prestado para la elaboración de esta investigación.

Bibliografía

- Barreda-Marín, Andrés.** 2020: "Toxitour México: Un registro geográfico de la devastación socioambiental". *Diálogos ambientales*, 1, 35-41.
- Boulding, Kenneth Ewart.** 1978: *Ecodynamics: A New Theory of Societal Evolution*. Beverly Hills (United States), Sage Publications.

Capra, Fritjof. 1996: *La trama de la vida. Una nueva perspectiva de los sistemas vivos*. Barcelona (España), Anagrama.

Castillo Figueroa, Enrique. 2018: "La gestión del agua potable a través del capital social en colonias marginales: caso Jardines del Verde, Lomas del Verde Ejidal, Loas de San Juan; El Salto, Jalisco 1995-2012". *Agua y Territorio / Water and Landscape*, 22, 39-48. <https://doi.org/10.17561/at.12.4067>

Castillo Figueroa, Enrique. 2021: "La población en riesgo y la calidad del agua al sur de la zona metropolitana de Guadalajara". *Agua y Territorio / Water and Landscape*, 17, 55-76. <https://doi.org/10.17561/at.17.5469>

Chávez Gómez, Nancy Libertad; Cabello López, Alejandro; Gopar Nieto, Rodrigo; Aguilar Madrid, Guadalupe; Marín López, Kennia Stephanie; Aceves Valdez, Maricruz; Jiménez Ramírez, Carmina; Cruz Angulo, María del Carmen; Juárez Pérez, Cuauhtémoc Arturo. 2016: "Enfermedad renal crónica en México y su relación con los metales pesados. México". *Revista Médica Instituto Mexicano del Seguro Social*, 55(6), 725-34.

Comisión de Cooperación Ambiental. 2013: *Expediente de hechos relativo a la petición SEM-03-003*. Quebec (Canadá), Secretariado de la CCA.

Comisión Estatal del Agua de Jalisco (CEAJ). 2021: *Sistema de Calidad del Agua*. <http://info.ceajalisco.gob.mx/sca/>

Comisión Nacional del Agua (CNA). 2018: *Diagnóstico de la calidad del agua en el río Santiago, desde el lago de Chapala hasta el puente Arcediano y de los municipios de Juanacatlán y El Salto, en Jalisco*. Subdirección general técnica, gerencia de calidad del agua.

Daly, Herman. 1991. *Steady State Economics*. Washington (United States), Island Press.

Díaz García, Juan; Arceo, Emanuel. 2018: "Daño renal asociado a metales pesados: trabajo de revisión". *Revista Colombiana de Nefrología*, 5(1), 43-53. <https://doi.org/10.22265/acnef.5.2.254>

Durán Juárez, Juan Manuel; Torres Rodríguez, Alicia. 2006: "Los problemas de abastecimiento de agua potable en una ciudad media". *Espiral*, 36, 129-132.

El informador. 15 de noviembre de 2019. "Jalisco encabeza la lista de enfermos renales". <https://www.informador.mx/Jalisco-encabeza-lista-de-enfermosrenales-1201911150001.html>

Filla Rosaneli, Caroline; Fischer, Luciane Marta; Sganzerla, Anor; Paulo Neto, Alberto. 2022: "Interacción agua y salud global: una cuestión bioética". *Agua y Territorio / Water and Landscape*, 19, 111-124. <https://doi.org/10.17561/at.19.5471>

Foster, John Bellamy. 1999: "Marx's Theory of Metabolic rift: Classical foundations for environmental Sociology". *American Journal of Sociology*, 2, 366-405. <https://doi.org/10.1086/210315>

Garnero, Gabriel. 2022: "Los ríos y el proyecto modernizador en el oeste argentino; el caso del río de Los Sauces, Córdoba (1880-1930)". *Agua y Territorio / Water and Landscape*, 19, 35-51. <https://doi.org/10.17561/at.19.5442>

- Georgescu-Roegen, Nicholas.** 1996: *La ley de la entropía y el proceso económico*. Madrid (España), Fundación Argentaria.
- Gleason Espindola, José Arturo.** 2011: "Hacia una gestión sustentable del agua en la zona conurbada de Guadalajara". *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 1, 113-126.
- Gobierno de Jalisco.** 2022. Acuerdo legislativo 220-LXIII-22.
- González de Molina, Manuel; Toledo Manzur, Víctor Manuel.** 2014: *The Social Metabolism. A Socio-Ecological theory of Historical Change*. New York (United States), Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-06358-4>
- Greenpeace.** 2016. *Alto a la catástrofe ecológica del río Santiago*. Reporte Técnico, México. Greenpeace International.
- Guttmann Sterimberg, Edith; Zorro Sánchez, Carlos; Cuervo de Forero, Adriana; Ramírez J., Juan Carlos.** 2004. *Diseño de un sistema de indicadores socioambientales para el distrito capital de Bogotá*. Bogotá (Colombia), CEPAL.
- Ibáñez, Luis.** 2015. *Las plantas hidroeléctricas construidas a partir de los aprovechamientos hidráulicos del río Santiago en el Salto de Juanacatlán, Jalisco*. Ciudad de México (México), III Simposio internacional de historia de la electrificación.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).** 2010: *Datos vectoriales*. <https://www.inegi.org.mx/>
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).** 2019: *Estadísticas de salud en establecimientos particulares*. https://www.inegi.org.mx/sistemas/olap/proyectos/bd/continuas/salud/mobhospital.asp?s=est&c=33422&proy=esep_mobhospit
- Lezama Escalante, Cecilia.** 2018: "Los costes sociales del proyecto de la presa El Zapotillo: el caso Temacapulín". *Agua y Territorio / Water and Landscape*, 12, 71-82. <https://doi.org/10.17561/at.12.4070>
- Lozano Kasten, Felipe; Sierra Díaz, Erick; Celis de la Rosa, Alfredo de Jesús; Soto Gutiérrez, María Margarita; Peregrina Lucano, Alejandro Aarón.** 2017: "Prevalence of Albuminuria in Children Living in a Rural Agricultural and Fishing Subsistence Community in Lake Chapala, Mexico". *International Journal of environmental research and public health*, 14(12), 1-9. <https://doi.org/10.3390/ijerph14121577>
- Martínez Alier, Joan.** 2009: *El ecologismo de los pobres*. Barcelona (España), Icaria.
- Martínez González, Paulina; Hernández, Eduardo.** 2009: "Impactos de la contaminación del río Santiago en el bienestar de los habitantes de El Salto, Jalisco". *Espacio abierto*, 18, 709-729.
- McCulligh, Cindy.** 2019: "La no regulación ambiental: contaminación industrial del río Santiago en Jalisco". *Estudios del desarrollo*, 2(7), 22-29. <http://doi.org/10.35533/od.0207.cm>
- Meadows, Donella.** 2008: *Thinking in systems. A primer*. London (United Kingdom), Sustainability Institute.
- Milenio, Política.** 18 de febrero de 2021. "Conahcyt identifica 50 regiones contaminadas en México; las llama 'infiernos ambientales'". <https://www.milenio.com/politica/conacyt-identifica-50-regiones-contaminadas-infiernos-ambientales>
- Müller, Igno.** 2010: *A history of thermodynamics: the doctrine of energy and entropy*. New York (United States), Springer.
- Partida Rocha, Raquel.** 2004: "Las fases de desarrollo de la industria maquiladora electrónica en Jalisco". *El cotidiano*, 19(126), 101-112.
- Peniche Camps, Salvador.** 2017: "Reshaping the economic landscape of the Santiago river basin, Jalisco, Mexico. An ecological economics perspective of regional integration". *International journal of rural law and policy*, 2, 1-7. <http://doi.org/10.5130/ijrlp.i2.2017.5001>
- Russi, Daniela; Puig Ventosa, Ignasi; Ramos Martín, Jesús; Ortega Cerdá, Miquel; Ungar, Paula.** 2003: *Deuda ecológica ¿Quién debe a quién?* Madrid (España), Icaria.
- Sabath, Ernesto; Robles Osorio, Ludivina.** 2012. "Medio ambiente y riñón: nefrototoxicidad por metales pesados". *Revista Nefrología*, 32(3), 279-286. <https://www.revistanefrologia.com/es-medio-ambiente-riñon-nefrotoxicidad-por-articulo-X0211699512001359>
- Santana Belmont, Lizett.** 2017: "Factores ligados al problema de salud en El Salto y Juanacatlán". *Ichan Tecolotl*, 28(313). <https://ichan.ciesas.edu.mx/factores-ligados-al-problema-de-salud-ambiental-en-el-salto-y-juanacatlán/>
- Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial (SE-MADET).** 2016: *Programa de manejo integral de la cuenca del río Santiago-Guadalajara*. SEMARNAT.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SE-MARNAT).** 2007: *Plan hídrico visión 2030 del estado de Jalisco*. Comisión Nacional del Agua.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SE-MARNAT).** 2019. *Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC)*. <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/retc/retn/consulta.php?enfe=14&muni=14070&anio=2018&tipb=0>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SE-MARNAT).** 2020. Diálogos ambientales. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/559111/13_RioSantiagoW.pdf
- Tamayo y Orozco, Juan Alfredo; Lastiri Quirós, H. Santiago.** 2016: *La enfermedad renal crónica en México. Hacia una política nacional para enfrentarla*. Ciudad de México (México), Academia Nacional de Medicina en México.
- Tribuna de la Bahía, noticias.** <https://tribunadelabahia.com.mx/29-empresas-señaladas-por-contaminacion-del-rio-santiago-go-31377/>

Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP) y Comisión Estatal del Agua de Jalisco (CEAJ). 2010: *Propuesta metodológica para la implantación de una batería de indicadores de salud que favorezcan el establecimiento de programas de diagnóstico, intervención y vigilancia epidemiológica en las poblaciones ubicadas en la zona de influencia del proyecto de la presa arcediano en el estado de Jalisco.* Guadalajara (México), CEAJ.

Universidad Nacional Autónoma de México. 2017: *Situación ambiental de la cuenca del río Santiago Guadalajara.* México (Méjico), SEMARNAT.

Un Salto de Vida. Noviembre 2020. "La Cuenca Chapala Santiago como zona de sacrificio." *La Jornada.* <https://www.jornada.com.mx/2020/11/21/delcampo/articulos/cuenca-chapala-santiago.html>