

DIAGNÓSTICO DE SALUD AMBIENTAL DEL CENTRO DE POBLACIÓN DE HERMOSILLO, SONORA

AGUA, AIRE, RESIDUOS Y
SU EFECTO EN SALUD
EN EL HERMOSILLO
DEL SIGLO XXI
(2000-2017)



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

Héctor Duarte Tagles
Coordinador

*Diagnóstico de salud ambiental del centro de población de Hermosillo, Sonora.
Agua, aire, residuos y su efecto en salud en el Hermosillo del siglo XXI (2000-2017)*

Derechos reservados para esta edición:

D.R. © 2020, Héctor Duarte Tagles, Clara Rosalía Álvarez Chávez, Arturo Ojeda de la Cruz, Francisca Ofelia Muñoz Osuna, Ana Laura Bautista Olivas, María Engracia Arce Corrales, Ricardo Pacheco Elías, Santa Aurora Nápoles Trujillo y Derheyz Eugenia Ochoa Veá.

D.R. © 2020, Universidad de Sonora
Blvd. Luis Encinas y Rosales
Col. Centro, C.P. 83000
Hermosillo, Sonora, México
Teléfono y fax (01-662) 259-22-18
www.unison.mx

Primera edición electrónica en formato PDF (11.2 MB): diciembre de 2020.
ISBN: 978-607-518-400-5

Esta obra fue dictaminada a doble ciego por pares académicos y aprobada para su publicación por el Comité editorial de la colección “Textos académicos”.

Corrección de estilo: Magdalena Frías Jaramillo
Corrección de galeras: Dulce María Córdova Cortez
Compuedición: Mario Roberto García Torres
Diseño de portada: Leonel López Peraza

Esta edición y sus características son propiedad de la Universidad de Sonora. Prohibida su reproducción total o parcial por cualquier medio sin autorización escrita de su legítimo titular de derechos.

Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana. Reg. Núm. 3661.

Hecho en México/Made in Mexico

DIRECTORIO

Dr. Enrique Fernando Velázquez Contreras
Rector

Dr. Ramón Enrique Robles Zepeda
Secretario General Académico

Dra. Rosa María Montesinos Cisneros
Secretaria General Administrativa

Dra. María Rita Plancarte Martínez
Vicerrectora de la URC

M.C. Luis Enrique Riojas Duarte
Vicerrector de la URN

Dra. Adriana Leticia Navarro Verdugo
Vicerrectora de la URS

Dr. Rodolfo Basurto Álvarez
Director de Vinculación y Difusión

M.C. Marianna Lyubarets
Coordinadora de Fomento Editorial

Contenido

Semblanza de autores.....	8
Prólogo.....	12
1. Introducción	15
1.1. Bibliografía	17
2. El diagnóstico de salud ambiental	18
2.1. Estudios anteriores	18
2.2. Componentes ambientales	24
2.3. Componente epidemiológico	25
2.4. Marco legal.....	28
2.5. Bibliografía	31
3. Metodología aplicada en el diagnóstico de salud ambiental de Hermosillo.....	33
3.1. Investigación documental	34
3.2. Registro de enfermedades	36
3.3. Visualización de datos y síntesis cualitativa	38
3.3.1. Indicadores de salud ambiental	39
3.3.2. Parámetros para la selección de Indicadores de Salud Ambiental (ISA) según la ONU	41
3.4. Modelo Corvalán	42
3.5. Análisis Comparativo de Riesgos (ACR).....	42
3.6. Sistema de Información Geográfica (SIG).....	43
3.7. Bibliografía	44

4. Calidad del agua y salud en el centro de población de Hermosillo.....	46
4.1. Características y normatividad.....	48
4.1.1. Guía para la calidad del agua potable	48
4.1.2. Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos	49
4.1.3. Ley General de Salud	49
4.1.4. Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Control Sanitario de Actividades, Establecimientos, Productos y Servicios	49
4.1.5. Normas Oficiales Mexicanas	49
4.2. El agua y la salud pública de Hermosillo	51
4.2.1. Antecedentes	51
4.2.2. Estudios sobre la calidad del agua y la salud pública	52
4.3. Conclusiones.....	63
4.4. Bibliografía	63
5. Calidad del aire y salud en el centro de población de Hermosillo.....	69
5.1. ¿Cómo saber si el aire que respiramos está contaminado?	70
5.2. Marco legal en materia de calidad del aire.....	71
5.2.1. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA).....	72
5.2.2. Ley del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado de Sonora (LEEPAES).....	72
5.2.3. Normas Oficiales Mexicanas	72
5.2.4. La Estrategia Nacional de Calidad del Aire visión 2017 a 2030 (ENCA).....	74
5.3. Programa de Evaluación y Mejoramiento de la Calidad del Aire (PEMCA).....	75
5.4. Estudios de calidad del aire en Hermosillo	83
5.5. Conclusiones	89
5.6. Bibliografía	89
6. Residuos municipales y salud en el centro de población de Hermosillo.....	93
6.1. Situación mundial	93
6.2. Marco legal en materia de residuos	94

6.2.1. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)	94
6.2.2. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR)	95
6.2.3. Ley del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado de Sonora (LEEPAES)	95
6.2.4. Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR)	96
6.2.5. Normas Oficiales Mexicanas	96
6.2.6. Reglamento para el Servicio Público de Limpia del Municipio de Hermosillo	97
6.2.7. Clasificación y disposición de residuos	97
6.3. Estudios de residuos municipales en Hermosillo	99
6.3.1. Residuos Sólidos Urbanos (RSU)	100
6.3.1.1. Condiciones basales en la ciudad respecto a los RSU	101
6.3.1.2. Composición y valorización de RSU del municipio de Hermosillo	102
6.3.2. Residuos de Manejo Especial (RME)	104
6.3.2.1. Descacharre y llantas	107
6.3.3. Residuos Peligrosos (RP)	108
6.3.3.1. Necesidad de una gestión de RP municipales	109
6.3.3.2. Confinamiento de Residuos Peligrosos (RP) CYTRAR	110
6.3.3.3. Papel de las instituciones educativas en materia de RP	112
6.4. Conclusiones	112
6.5. Bibliografía	114
7. Enfermedades asociadas al ambiente en el centro de población de Hermosillo	122
7.1. Indicadores de salud	122
7.2. Eventos en salud asociados a la calidad del agua	126
7.2.1. Enfermedades Transmitidas por los Alimentos (ETA)	127
7.2.2. Hepatitis A (HA)	128
7.2.3. Cáncer de vejiga	129

7.3. Eventos en salud asociados a la calidad del aire.....	131
7.3.1. Enfermedad Vascul ar Cerebral (EVC).....	133
7.3.2. Hipertensión Arterial (HTA)	135
7.3.3. Enfermedad Isquémica del Corazón (EIC)	136
7.3.4. Infecciones Respiratorias Agudas (IRA)	137
7.3.5. Asma	140
7.3.6. Enfisema y otras Enfermedades Pulmonares Obstructivas Crónicas (EPOC)	141
7.3.7. Tumores malignos de bronquios y pulmón	143
7.3.8. Eventos en salud asociados a la exposición a residuos municipales.....	144
7.3.9. Cáncer hepático.....	146
7.3.10. Cáncer de células claras de vagina	147
7.3.11. Leucemia granulocítica	148
7.3.12. Leucemias agudas	150
7.4. Conclusiones	151
7.5. Bibliografía	152
8. Conclusiones generales	156
8.1. Bibliografía	160
9. Anexos	162
9.1. Calidad del agua	162
9.2. Calidad del aire	163
9.3. Residuos municipales	164
9.4. Indicadores de salud.....	164

Semblanza de autores

Héctor Duarte Tagles. Profesor asociado D de tiempo completo de la Universidad de Sonora, adscrito al Departamento de Medicina y Ciencias de la Salud. Es Ingeniero en Ecología por el Centro de Estudios Superiores del Estado de Sonora (CESUES), además, cuenta con dos maestrías en ciencias, una en Ingeniería Ambiental con especialidad en Prevención y Control de la Contaminación por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM), campus Monterrey; la otra, en Ciencias Aplicadas a la Salud en Medio Ambiente Laboral por la McGill University de Montreal, Canadá. Obtuvo el grado de doctor en Ciencias de la Salud Pública con área de concentración en Epidemiología por el Instituto Nacional de Salud Pública (INSP), en Cuernavaca, Morelos. Ha participado en proyectos de investigación y consultoría en México y en el extranjero, en temas de salud ambiental (v.gr. Diagnóstico Nacional de Salud Ambiental de Colombia en 2012) y ocupacional (v.gr. Proyecto SALUD en Costa Rica 2001 y MICASA en EE. UU., 2005).

Clara Rosalía Álvarez Chávez. Profesora titular C de tiempo completo de la Universidad de Sonora, adscrita al Departamento de Ciencias Químico-Biológicas. Es doctora en Ciencias, con área de Concentración en Producción más Limpia y Prevención de la Contaminación por la University of Massachusetts en Lowell. Maestra en Ciencias por el Centro de Investigaciones en Alimentación y Desarrollo, y Químico Biólogo por la Universidad de Sonora. Diseñó, implementó y coordinó el Programa Institucional de Salud y Seguridad Ambiental de la Universidad de Sonora (PISSA-UNISON). Asimismo, ha dirigido proyectos de vinculación para el reciclaje de residuos eléctricos y electrónicos en el estado de Sonora y desarrollado investigación para la gestión sustentable de sustancias químicas.

micas en diversos sectores, en la eliminación del mercurio en el sector salud y académico, accidentalidad en laboratorios académicos, factores humanos y riesgos de trabajo, así como sustentabilidad de materiales. Su labor pedagógica la ha llevado a impartir cursos de capacitación a profesionistas sobre seguridad y manejo de materiales y residuos peligrosos por más de 25 años. Es miembro del Comité Técnico Consultivo en Materiales Peligrosos del Estado de Sonora y de la División de Salud y Seguridad Química de la Sociedad Americana de Químicos.

Arturo Ojeda de la Cruz. Investigador titular de tiempo completo en el Departamento de Ingeniería Civil y Minas, División de Ingeniería, en la Universidad de Sonora, con una trayectoria de 34 años en labores académicas, investigación y gestión en dicha institución. Es doctor en Asuntos Urbanos, maestro en Geohidrología e Ingeniero Civil por la Universidad Autónoma de Nuevo León. Ha publicado artículos y capítulos de libros en la temática de gestión del agua y sustentabilidad urbana. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores del CONACyT y líder del cuerpo académico Gestión Urbana en la Universidad de Sonora. Es miembro de la Red Temática del CONACyT Gestión e Investigación del Agua. Su publicación más reciente (2019) es “Consumo Percápita de Agua, caso Hermosillo, Sonora”, en: *Agua, El Futuro Ineludible* (Colegio de México/ Universidad de Guadalajara). Desarrolla una estancia de Investigación (2019-2020) en la Universidad Autónoma de Nuevo León con el auspicio del CONACyT y la Universidad de Sonora.

Francisca Ofelia Muñoz Osuna. Química con estudios de maestría en Educación, campo Formación Docente, y doctorado en Educación por la Universidad Nacional de Educación a Distancia, sede España. Es autora de diez textos académicos y profesora titular C, adscrita al Departamento de Ciencias Químico-Biológicas, además es miembro del Cuerpo Académico Salud y Seguridad en la Producción y Servicios para el Desarrollo Sustentable. Ha impartido cursos de capacitación, conferencias y presentado ponencias en varios eventos. Asimismo, ha colaborado en diversos proyectos universitarios sobre gestión de la seguridad y ambiente en el laboratorio, reducción de tóxicos, accidentes ocurridos, control y prevención de riesgos. Su área de interés es educación y la realización de experimentos químicos seguros y sustentables. Ha participado en la elabora-

ción de textos de química orgánica donde existen aspectos de seguridad, clasificación de las sustancias químicas empleadas y la recolección de los residuos generados.

Ana Laura Bautista Olivas. Profesora titular asociada D de tiempo completo de la Universidad de Sonora, adscrita al Departamento de Agricultura y Ganadería. Tiene estudios de doctorado y maestría en Ciencias, con la especialidad en Hidrociencias en el Colegio de Posgraduados. Ingeniero en Irrigación por la Universidad Autónoma Chapingo. Ha dirigido proyectos de investigación en tópicos de obtención del agua del aire, calidad del agua, así como investigaciones en sustentabilidad en el sector agrícola.

María Engracia Arce Corrales. Obtuvo la licenciatura de Químico-Biólogo, especialidad en Tecnología de Alimentos, maestría en Ciencias de la Ingeniería y el doctorado en Ciencias. Laboró en el sector privado como responsable del control de calidad por más de cinco años y labora desde el año 2004 a la fecha en el Departamento de Ciencias Químico-Biológicas de la Universidad de Sonora. Profesora cocreadora y fundadora del Programa Institucional de Salud y Seguridad Ambiental de la Universidad de Sonora, ha participado como responsable y colaboradora en proyectos de investigación, vinculación y difusión, además de ser autora y coautora de artículos en revistas científicas, libros y memorias de congresos nacionales e internacionales relacionados con la gestión de materiales y residuos peligrosos químicos en los sectores educativos y de salud. Así mismo, ha impartido conferencias y ponencias sobre la gestión sustentable de sustancias químicas y sus residuos en instituciones de educación superior y hospitales públicos a nivel local e internacional, así como en la impartición de cursos de capacitación dirigidos a profesionistas, académicos, investigadores y estudiantes en el manejo de materiales y residuos peligrosos.

Ricardo Pacheco Elías. Médico cirujano, egresado de la Universidad Nacional Autónoma de México, con estudios de maestría en Ciencias por la Universidad de Sonora, en Epidemiología por la Atlantic International University y en Gestión de Salud Institucional. Es candidato a doctor en Gestión de Salud Institucional por el Instituto Sonorense de Ad-

ministración Pública. Se ha desempeñado como epidemiólogo de unidad de salud, trabajó en la consulta externa de primer nivel, también como jefe estatal de la Unidad de Vigilancia Epidemiológica, jefe de programa estatal, epidemiólogo en hospital, liderazgo en situaciones críticas como urgencias epidemiológicas, control de brotes en comunidad y hospitales. Actualmente se desempeña como Director de Prevención y Control de Enfermedades de la Secretaría de Salud del Estado de Sonora.

Santa Aurora Nápoles Trujillo. Ingeniero Industrial y de Sistemas, egresada del Instituto Tecnológico de Sonora, campus Guaymas. Posee una maestría y doctorado en Conservación y Gestión del Medio Natural: *Cambio Global y Sostenibilidad Socioecológica*, por la Universidad Internacional de Andalucía, sede Santa María de la Rábida, Huelva, España. Está certificada como Intérprete Ambiental por la National Association For Interpretation, asimismo, tiene un diplomado en *Conservación, restauración y manejo de humedales y otros ecosistemas acuáticos*, por la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, especialización en el Diseño y Evaluación de Programas de Educación Ambiental No Formal, impartido por: Universidad Autónoma de Chapingo Centro de Educación Continua (CRUNO). Es consultor de Micro, Pequeña y Mediana Empresa (MPyME) con capacitación en Nivel 5, en todas las áreas de gestión, por el Instituto Tecnológico de Sonora, campus Guaymas. Fue Directora de Ecología y Medio Ambiente del municipio de Guaymas durante la administración del 2009-2012 y actualmente se desempeña como Directora de Instituto Municipal de Ecología del municipio de Hermosillo.

Derheyz Eugenia Ochoa Vea. Egresada de la licenciatura en Ingeniería Ambiental Industrial de la Universidad Estatal de Sonora y la maestría en Ciencias de la Salud de la Universidad de Sonora, campus Hermosillo. Cuenta con experiencia en investigación en salud pública y medio ambiente. Ha colaborado con la Universidad de Sonora y la Universidad Industrial de Santander en Bucaramanga, Colombia, en proyectos asociados a la salud ambiental de la ciudad Hermosillo, Sonora y comunidades aledañas. Actualmente se desempeña como ingeniera de procesos en Hospital San José de Hermosillo.

Prólogo

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas (ONU), la urbanización es una de las cuatro megatendencias demográficas mundiales (junto con el crecimiento de la población, la migración y el envejecimiento); se proyecta que los centros urbanos absorberán todo el crecimiento futuro de la población. También se ha establecido que, desde 2008, más de la mitad de la población mundial vive en ciudades y se espera que esta proporción alcance 69.6% en 2050. Esta tendencia global es evidente en América Latina, que presenta la mayor proporción de habitantes urbanos en todo el mundo, con más de 72% de su población viviendo en ciudades; una cifra similar se aprecia en México.

Tomando en cuenta estas tendencias y la importancia de la ciudad como hábitat de gran parte de la población actual y futura, resulta ineludible para la academia “diagnosticar” estos espacios. ¿En qué consiste esto? En su sentido más elemental, “diagnosticar” implica determinar o calificar el estado de una enfermedad según los signos y síntomas que se observan. Precisamente a esto se dedica el trabajo que tan amablemente me han pedido presentar. Dentro de los muchos aciertos de este diagnóstico, tres llaman particularmente mi atención. El primero de ellos es que las y los autores han escogido tres parámetros ambientales por demás importantes: calidad del agua, calidad del aire y residuos municipales. Los tres son de gran relevancia, por esta razón son parte de los indicadores de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, Agenda 2030. Lo que me parece más acertado es que, para integrar este trabajo, han escogido el ensamblaje perfecto de un buen diagnóstico de salud ambiental: la asociación de los indicadores de salud y enfermedad con cada uno de los tres parámetros. Además, no conformes con brindarnos estadísticas centrales sobre cada uno de estos parámetros, han incluido una sección de antecedentes

y marco legal que resulta insoslayable si se desean elaborar propuestas de políticas públicas.

Otro acierto fundamental fue la decisión de enfocar territorialmente el diagnóstico en la ciudad de Hermosillo. Si bien es cierto que, como ellas y ellos reconocen, enfocarse en la ciudad les limita en el análisis de las interacciones entre esta y lo peri-urbano, el optar por el enfoque territorial les permite encontrar diversas situaciones en un espacio y tiempo específico, con las aportaciones que ello implica. Es por demás interesante la perspectiva de este trabajo en la relación ambiente-salud, como una alternativa ante los enfoques de desarrollo urbano, tradicionalmente empleados en los diagnósticos centrados en la ciudad. Un atributo de este trabajo es también la participación de autoras y autores egresados de maestría y licenciatura. Si pensamos en el futuro de la ciudad desde la academia, es necesario considerar la formación de nuevos cuadros de investigadores que den continuidad a estos trabajos. Como todo trabajo académico, este diagnóstico también plantea interesantes retos, pero no solo para las y los autores de este análisis, sino también para quienes de alguna manera estamos involucrados en el tema de salud ambiental. El primero de ellos es definir cómo continuar este esfuerzo. Como bien se apunta en este volumen, el monitoreo y vigilancia en salud ambiental es un quehacer primordial que sucede a un diagnóstico, es por ello que en las conclusiones se propone la creación de El Observatorio de Salud Ambiental de Hermosillo (OSAH) para tales fines. Queda como reto para este grupo de investigadores e investigadoras darle forma a este observatorio, que sin duda será un referente para otros grupos de trabajo.

Retomando la definición de diagnóstico como la determinación de una enfermedad a partir de los signos y síntomas observados, habría que admitir, entonces, que este trabajo describe y profundiza en los signos y síntomas de calidad ambiental en Hermosillo, pero es necesaria la calificación última acerca de cuál es la enfermedad o condición de salud del objeto o sujeto observado. Visto así, estaríamos hablando de una ciudad poco saludable, pero en tal caso, ¿cómo se puede atender dicho padecimiento?, ¿de qué forma podemos prevenir esta enfermedad? Como estudioso de las Ciencias Sociales, también avizoro que queda pendiente el profundizar en los temas de vulnerabilidad y resiliencia que, más allá de monitorear síntomas y signos, contribuyen a una mayor comprensión de los procesos sociales que producen daño, con el fin de detenerlos y, de ser posible, revertirlos. La respuesta a estas preguntas, naturalmente, va

más allá del objetivo del presente libro, pero sin duda alguna este trabajo apunta hacia estas interrogantes que requieren de un esfuerzo colectivo para ser contestadas.

Dr. Rolando E. Díaz Caravantes

El Colegio de Sonora

Introducción

Héctor Duarte Tagles

Es innegable que la salud es imprescindible para el bienestar individual y social. La búsqueda constante de este bienestar queda patente cuando se procuran las mejores condiciones que ayuden a preservar la salud de las comunidades (Secretaría de Salud, 2014). Desde antes de la era cristiana, era ya conocido el importante papel que jugaba el ambiente en la pérdida de la salud humana y la eventual aparición de enfermedades, tal como lo demuestran los escritos de Hipócrates de Cos (460-370 a. C.), titulados *Aires, aguas y lugares* (Frumkin, 2010). Con el paso del tiempo, esta área fue conformando un cuerpo de conocimientos fundamentales al interior de la salud pública, el cual es ahora conocido como salud ambiental. De esta manera, podemos decir que la salud ambiental comprende aquellos aspectos de la salud humana, incluyendo la calidad de vida, que son determinados por factores físicos, químicos, biológicos, sociales y psicológicos en el ambiente. Una definición formal establece que la salud ambiental “es la ciencia y la práctica de prevenir las lesiones y enfermedades humanas, así como de promover el bienestar, mediante la identificación y evaluación de las fuentes ambientales y agentes peligrosos que puedan afectar adversamente la salud humana” (Câmara, & Galvão, 2018).

Una herramienta de gran utilidad empleada para presentar información relacionada con los impactos de los diversos factores ambientales sobre la salud de una población determinada, es el diagnóstico de salud ambiental, el cual permite tener un panorama general de la situación actual de la zona geográfica estudiada en términos de salud ambiental, con

la finalidad de servir como un apoyo para la toma de decisiones, ya sea del sector público, privado y/o social en la solución o atenuación de las problemáticas detectadas (COFEPRIS, 2002).

Este libro representa el proceso seguido para realizar el diagnóstico de las condiciones de salud ambiental para el centro de población de Hermosillo en el periodo 2000 al 2017. Los resultados y conclusiones del diagnóstico se presentan a lo largo de varios capítulos, con un enfoque en los aspectos de la calidad del agua, calidad del aire y residuos municipales, tanto peligrosos como no peligrosos, los cuales tienen un efecto plausible en la salud de la población expuesta, que se ve reflejado en el perfil epidemiológico observado en la población urbana del mismo municipio. El documento termina con las conclusiones generales del diagnóstico y una particular recomendación: realizar una posterior evaluación de los riesgos ambientales detectados en la salud de la población, la cual facilite a las autoridades la toma de decisiones que minimicen los riesgos y promuevan la salud pública. Por este motivo, este trabajo será una herramienta importante de apoyo para la política pública, que en materia de medio ambiente, salud pública y desarrollo urbano realiza el Ayuntamiento de Hermosillo por conducto de varias dependencias, como el Instituto Municipal de Ecología (IME), el Instituto Municipal de Planeación Urbana (IMPLAN), la Dirección de Salud Pública (SP), entre otras.

En la realización del diagnóstico intervinieron muchas personas, desde la gestión de la información, captura, trabajo de campo hasta aquellas que facilitaron información. Expresamos nuestro reconocimiento por su invaluable contribución a M. en C. Saúl Ruiz Fernández, quien participó en la gestación de este proyecto; Ecól. Joel Zepeda Ibarra, quien contribuyó de manera significativa en el material del capítulo 5 sobre calidad del aire; y al I. Q. Adrián Encinas Cárdenas, quien participó en el desarrollo del capítulo 6 sobre residuos a través del programa de Especialidad en Desarrollo Sustentable. Asimismo, agradecemos a las estudiantes en ese entonces de la Universidad de Sonora, Q. B. Dhamar Azucena Vázquez Rubio, M. P. S. S. Valeria Castro Rivera, Q. B. Grecia Carolina Soberanes Fimbres, L. C. N. Andrea Juarez González, L. C. N. Vindia Iridian Villela Moreno y L. C. N. Chalitza Alejandra Durazo Flores.

Por último, es importante destacar que el Diagnóstico de Salud Ambiental del Centro de Población de Hermosillo no tiene precedentes, ya que es el primer trabajo realizado en esta materia por una administración municipal.

1.1. Bibliografía

- Câmara, V. M., & Galvão, L. A. (2018). Epidemiología ambiental y exposición a sustancias tóxicas. *Revista de Salud Ambiental*, 18(1), 1-2.
- COFEPRIS. (2002). *Primer diagnóstico nacional de salud ambiental y ocupacional*. México: Dirección General de Salud Ambiental.
- Frumkin, H. (2010). *Salud Ambiental: De lo global a lo local* (1267 pp.). USA: Organización Panamericana de la Salud.
- Secretaría de Salud. (2014). *Programa de Acción Específico: Entornos y Comunidades Saludables 2013-2018. Programa Sectorial de Salud* (86 pp.). Gobierno de México.

El diagnóstico de salud ambiental

Héctor Duarte Tagles

Francisca Ofelia Muñoz Osuna

2.1. Estudios anteriores

El desarrollo de la salud ambiental ha tomado diferentes cursos y ritmos a nivel mundial, aunque no se puede soslayar que la salud pública institucionalizada desde un inicio se preocupó por atender los problemas de saneamiento ambiental básico, como fueron el abastecimiento de agua potable y la disposición apropiada de excretas (Riojas-Rodríguez et al., 2013). En México, a raíz de los acuerdos de la Conferencia Mundial sobre el Ambiente Humano de 1972, convocada por la ONU en Estocolmo, Suecia, se creó, dentro de la entonces Secretaría de Salubridad y Asistencia, la Subsecretaría para el Mejoramiento del Ambiente (Vizcaino-Murray, 1975).

La idea original de mantener los aspectos ambientales integrados a la perspectiva salubrista, fue cambiando a medida que el cuidado del ambiente tomaba preponderancia a nivel mundial. Con la promulgación de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) en marzo de 1988, se fortalecen las atribuciones relacionadas con el cuidado y conservación del ambiente que ya vigilaba la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE) desde 1982, y se delinea una política ambiental a nivel nacional desde una perspectiva ahora más de desarrollo, bajo ciertos criterios de sostenibilidad. Muchas de las funciones en materia ambiental y laboral durante esa década fueron sustraídas

del enfoque salubrista en el marco legal y ejecutivo, lo que llevó casi a la desaparición de la salud ambiental como tema sustantivo y a su desvinculación de la salud humana.

Sin embargo, a pesar del aparente alejamiento de la salud pública, la política ambiental amplió sus alcances con la creación de la Dirección General de Salud Ambiental dentro del organigrama de la Secretaría de Salud, ya que a principios de los noventa, en el siglo pasado, empezaron a promulgarse normas oficiales mexicanas tendientes a regular los límites máximos permisibles de contaminantes presentes en el aire, en el agua y en muchos productos comerciales de uso y consumo humano.

A principios de este siglo, una vez aceptada la salud ambiental como una de las funciones esenciales de la salud pública (CDC/CLAISS/OPS, 2000), el gobierno mexicano elaboró el Programa de Acción en Salud Ambiental (PRASA 2002-2006), mediante el cual se dotó a la recién creada Comisión Federal de Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS), de los criterios y bases técnicas para implementar una política integral en materia de salud ambiental a nivel federal, basados en un diagnóstico general a nivel nacional en la materia (Secretaría de Salud, 2002).

Desafortunadamente, en los gobiernos posteriores no se desarrollaron de nuevo planes de acción específicos en materia de salud ambiental. En su lugar, la perspectiva gubernamental de la salud pública ha pretendido fortalecer la promoción de la salud a través de mejorar los entornos comunitarios, en busca de favorecer la participación social a nivel municipal. En este sentido, el Programa de Acción Específico de Entornos y Comunidades Saludables representa una extensión a nivel nacional del programa que desde la década de los noventa venía impulsando la Organización Panamericana de la Salud (OPS) para acreditar municipios saludables en América Latina, haciendo especial énfasis en atender y mejorar los determinantes de la salud, en vez de combatir las enfermedades *per se* (Secretaría de Salud, 2014).

En marzo de 2013, bajo el auspicio del Instituto Nacional de Salud Pública (INSP), se organizó un Foro Nacional de Salud Ambiental en la ciudad de Cuernavaca, Morelos. Dicha reunión concluyó con la elaboración de un documento que se divide en siete temas correspondientes a las mesas de trabajo desarrolladas: agua y salud; contaminación del aire (intra y extra-muros); minería y salud; corredores industriales y salud poblacional; cambio climático y salud; compuestos orgánicos persistentes; y

gobernanza en salud ambiental. Todos estos temas pretendieron incluir la problemática global que guarda el país en relación con la salud ambiental, al identificar prioridades y posibles causas transversales comunes a todos ellos, tales como el modelo de desarrollo económico y urbano, los factores sociales, económicos y culturales, así como la participación ciudadana en el desarrollo de esta política nacional. Refiere que el modelo actual de gobernanza en salud ambiental en México no promueve la integralidad ni el abordaje intersectorial, lo cual limita la efectividad de las políticas desarrolladas en ese sentido. Asimismo, es de destacar que, de las recomendaciones generadas en ese documento, la primera señala la necesidad de actualizar el diagnóstico nacional de salud ambiental, a partir de los diagnósticos regionales que cada entidad federativa elabore (INSP, 2013).

Los diagnósticos de salud ambiental a más pequeña escala, facilitarían en gran medida la integración de un estudio a nivel nacional, sin embargo, no existe a la fecha ningún diagnóstico de salud ambiental para Sonora ni para ninguno de sus 72 municipios. El Programa de Desarrollo Metropolitano de Hermosillo identifica algunos problemas de carácter ambiental que pueden estar afectando la calidad de vida en el municipio, tales como la sequía y el consecuente desabasto de agua para consumo, la contaminación atmosférica por partículas suspendidas, así como la presencia de tiraderos clandestinos de basura y escombros (IMPLAN, 2017). Este programa, menciona que la contaminación del aire por polvos ha provocado un incremento en enfermedades respiratorias, alergias, infecciones, enfermedades cardiovasculares, etc., pero no presenta cifras al respecto ni establece algún tipo de asociación temporal, por consiguiente, su aseveración es más de carácter perceptivo, basado en el conocimiento teórico de lo que la contaminación atmosférica puede provocar.

A pesar de ello, este instrumento se destaca por el enfoque de sustentabilidad en las políticas y estrategias de desarrollo municipal, al dar especial importancia a aquellas medidas tendientes a respetar la preservación y conservación de los recursos, así como el impulso a la infraestructura verde en beneficio de la misma población. Derivado de esta estrategia de desarrollo metropolitano, el mismo Instituto Municipal de Planeación Urbana de Hermosillo (IMPLAN), con apoyo de la Comisión para la Cooperación Ambiental Fronteriza (COCEF), elaboró en el año 2017 un Manual de Lineamientos de Diseño de Infraestructura Verde, el cual tiene como objetivo servir de base en el diseño y toma de decisiones para los

demás municipios en el país que busquen su propio desarrollo urbano bajo criterios de sustentabilidad.

El inexorable crecimiento poblacional a nivel mundial se está concentrando en las ciudades, por ende, asegurar un proceso de mejoramiento continuo a través de los niveles de bienestar representa todo un reto por lo complejo del sistema urbano. Como sostiene Erik Vittrup Christensen, representante del programa ONU-Habitat para México, “no es posible fomentar el desarrollo económico o de infraestructura sin tomar en cuenta otros aspectos fundamentales como la sostenibilidad o la inclusión social. La mejora de una dimensión urbana implica ineludiblemente un impacto positivo en las otras” (INFONAVIT et al., 2016).

Atendiendo esta perspectiva, la ONU a través del Programa para Asentamientos Humanos (Habitat), en conjunto con el gobierno de México por conducto del Instituto Nacional de Fomento a la Vivienda de los Trabajadores (INFONAVIT) y la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU), calculó el Índice de Ciudades Prósperas (CPI, por sus siglas en inglés) de 152 municipios en todo el país, el cual permitió identificar de manera más objetiva, no solo las necesidades de infraestructura de cada ciudad analizada, sino que también brindó un punto de referencia para la comparabilidad homologada a nivel mundial en el monitoreo de los Objetivos del Desarrollo Sostenible que promueve la ONU. En el informe correspondiente a la ciudad de Hermosillo, en el 2016 se obtuvo un CPI = 54.24, lo cual ubica a la ciudad en un valor de prosperidad urbana moderadamente débil, según la escala que maneja el indicador. Dicho indicador considera 6 dimensiones de prosperidad que permiten entender y analizar el nivel de satisfacción de las necesidades básicas que enfrentan los habitantes de una ciudad, así como las condiciones de bienestar con las que cuenta. A saber, las 6 dimensiones que componen el CPI son: 1) productividad, 2) infraestructura de desarrollo, 3) calidad de vida (incluye indicadores de salud), 4) equidad e inclusión social, 5) sostenibilidad ambiental y, 6) gobernanza y legislación urbana. El estudio destaca que a pesar de que el rubro de salud obtuvo valores por encima del CPI global, la dimensión de sostenibilidad ambiental fue la más baja de todas las dimensiones evaluadas y requiere de una particular atención y acciones urgentes en varios de sus componentes ambientales si pretende mejorar en sus indicadores de prosperidad urbana (INFONAVIT et al., 2016).

Hermosillo también cuenta con un Atlas de Riesgos que le permite la identificación de zonas geográficas donde la integridad de las personas, sus bienes y su ambiente, se pueden ver afectados en caso de ocurrir un evento extremo o perturbador, tales como sequías, inundaciones, huracanes, etc., por lo tanto, dicho instrumento resulta de utilidad en la planeación urbana. Sin embargo, al igual que el Plan de Acción Climática Municipal de Hermosillo, ambos documentos no se han actualizado después de algunas administraciones, en consecuencia, las acciones de prevención, adaptación y mitigación que contemplan no necesariamente responden a las condiciones cambiantes del entorno.

El tema del cambio climático es un aspecto obligado en todo estudio que intente medir el desarrollo de una sociedad, tal como lo sugiere la ONU a través de los Objetivos del Desarrollo Sostenible y en las recomendaciones del Panel Intergubernamental contra el Cambio Climático. En línea con este pensamiento, el Banco Interamericano de Desarrollo para América del Norte (BIDAN) desarrolló una iniciativa llamada “Ciudades Emergentes y Sostenibles”, a saber, un programa de asistencia técnica que provee apoyo directo (no reembolsable) a los gobiernos centrales y locales en el desarrollo y ejecución de planes de sostenibilidad urbana¹.

En junio de 2017, la empresa española Ingeniería y Dirección de Obras y Montaje (IDOM) presentó los resultados del diagnóstico correspondiente al módulo 1 sobre mitigación del cambio climático del municipio de Hermosillo, haciendo particular énfasis en el inventario de gases de efecto invernadero, la identificación de sus fuentes potenciales, así como el análisis costo-beneficio de las medidas de mitigación sugeridas (BID, 2017). La metodología de esta iniciativa incluye la descripción de componentes ambientales y factores de riesgo de forma transversal con aspectos de desarrollo urbano, entre los que se encuentran indicadores de salud. El objetivo fue detectar aquellos elementos que impiden el “crecimiento sostenible de ciudades emergentes de América Latina y el Caribe”, a través de intervenciones urbanas, impulsadas y organizadas para hacerles frente.

Sin embargo, a pesar de la existencia de varios documentos que abordan la temática ambiental a nivel municipal, y algunos de ellos incluyen aspectos de salud, todos se caracterizan por tener un enfoque preferen-

¹ Para mayor información consúltese la siguiente página: <https://idblegacy.iadb.org/es/temas/ciudades-emergentes-y-sostenibles/dando-respuesta-a-los-desafios-de-desarrollo-urbano-de-las-ciudades-emergentes,6690.html>

temente de desarrollo urbano que, sin ser por ello menos importante, no se puede advertir de manera directa la relación ambiente-salud necesaria para el establecimiento de políticas efectivas que en materia de salud pública permitan minimizar y/o controlar los riesgos ambientales. Una excepción en este sentido quizá sea la propuesta de escenario adaptativo para Hermosillo que actualmente desarrolla la Red de Investigación en Sustentabilidad sobre Resiliencia a Eventos Extremos (UREX-SRN), la cual está conformada por investigadores de la Arizona State University, el Instituto Tecnológico de Sonora y el IMPLAN².

Por otro lado, en el ámbito internacional, la OMS promueve constantemente y por diferentes medios, la importancia de la salud ambiental, pues advierte que cerca de 23% de las muertes que ocurren a nivel mundial está relacionado con la mala calidad del ambiente³. En el 2016 publicó la segunda edición del informe *Ambientes saludables y prevención de enfermedades: Hacia una estimación de la carga de morbilidad atribuible al medio ambiente*, donde toman relevancia las diferentes medidas costo-efectivas que pueden implementar los países para revertir la tendencia en aumento de las enfermedades y las muertes por influencia del ambiente, las cuales en promedio suman alrededor de 12.6 millones al año (Prüs-Ustün et al., 2016).

Este documento contiene “100 categorías de enfermedades y traumatismos”; en él se establece que los países de ingresos bajos y medios presentan mayores índices de morbilidad debidos a efectos del ambiente relacionados con todo tipo de padecimientos y “lesiones”, no obstante, si se toman en cuenta algunos de ellos, como los no transmisibles, los países de ingresos altos no escapan a dichos efectos. En concreto, este informe es un diagnóstico general de salud ambiental.

A nivel internacional, algunos países se han sumado al esfuerzo por contar con un diagnóstico nacional en salud ambiental, como es el caso de la República de Colombia (MinAmbiente, 2012). Basados en criterios internacionales como el Índice de Desempeño Ambiental (EPI, por sus siglas en inglés), el diagnóstico tomó en cuenta aspectos relacionados con los residuos sólidos y peligrosos; la contaminación del agua; la contami-

² Puede consultarse la siguiente dirección virtual: <https://sustainability.asu.edu/urban-resilience/>

³ Para mayor detalle, visitar: http://www.who.int/quantifying_ehimpacts/publications/PHE-prevention-diseases-infographic-ES.pdf

nación atmosférica; las sustancias tóxicas y las radiaciones electromagnéticas no-ionizantes. El Diagnóstico Nacional de Salud Ambiental de Colombia representa un instrumento básico para la formulación de la política de salud pública para ese país (CONPES, 2008).

2.2. Componentes ambientales

La relación entre el ambiente físico y la salud es algo conocido desde la misma historia de la humanidad, de hecho, el proceso salud-enfermedad es el resultado de la interacción permanente de los seres humanos con el ambiente (Frumkin, 2010). El ambiente tiene diferentes componentes, matrices o medios, cada uno con características muy particulares, que repercuten en la forma cómo se contaminan y en la forma de afectar la salud humana. En este sentido, conservar la calidad ambiental del medio en particular será un factor que favorezca la promoción de la salud y la prevención de enfermedades.

El ambiente, tal como lo clasifica la ecología, es el componente no vivo del ecosistema, es decir, aquellos factores físicos como el agua, el aire, el suelo, etc., donde se pueden encontrar los organismos vivos. A la unidad funcional que conforman, en este sentido, los factores bióticos y abióticos se le llama ecosistema (Wegner, 2010). Las actividades humanas causan un impacto en el ecosistema cuando utilizan recursos como agua, alimentos, madera, etc., y se devuelven al medio como residuos o subproductos que pueden afectar a los seres vivos, incluyendo al humano (Marten, 2001). Dado que los asentamientos humanos en las ciudades son crecientes, tal como lo demuestra el aumento de 5% a 50% en los últimos 200 años a nivel mundial, es importante el desarrollo de políticas urbanas sostenibles que promuevan la salud y el bienestar de sus habitantes (Capon, 2017).

Desde esta perspectiva, todas las personas comparten ciertas necesidades de salud universales que todo desarrollo urbano sostenible debería considerar, tales como un aire limpio, agua potable, dieta saludable, ausencia de exposición a sustancias químicas peligrosas y radiación, protección contra eventos extremos y desastres, descanso suficiente, actividad física y hábitos saludables, entre otras más.

De acuerdo con el Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Hermosillo 2014, en la ciudad se identificaron como principales problemas ambientales los relacionados con el abasto de agua,

los residuos sólidos generados por las actividades humanas, que a su vez impactan en la calidad del aire y del agua, provocando además ruido y malos olores, así como el desmonte de zonas sin uso urbano y el desvío y desaparición de arroyos y escurrimientos naturales (IMPLAN, 2014). Por tal motivo, se van a considerar los aspectos de calidad del aire, calidad del agua y residuos municipales, como los componentes ambientales a considerar en el presente diagnóstico (tabla 2.1).

Tabla 2.1

Descripción de los componentes ambientales utilizados en el diagnóstico

COMPONENTE AMBIENTAL	DESCRIPCIÓN
Calidad del agua	Se considera el abastecimiento, distribución y potabilidad del agua de consumo, de diferentes fuentes y en diferentes puntos de la geografía municipal, según la normatividad local, nacional e internacional aplicable.
Calidad del aire	Se consideran las concentraciones reportadas de partículas presentes en el aire-ambiente, así como la naturaleza química y biológica de las mismas, según los límites permisibles establecidos en la normatividad aplicable.
Residuos municipales	Son residuos municipales todos aquellos generados en el centro de población de Hermosillo, a nivel urbano y sub-urbano, de origen domiciliario, comercial e industrial, tanto aquellos que por su naturaleza son considerados peligrosos, como los no peligrosos y los de manejo especial.

Fuente: Elaboración propia.

2.3. Componente epidemiológico

Debido a que el ambiente natural puede definirse como cualquier espacio físico que rodea a los seres vivos, es de esperarse que muchas enfermedades infecciosas y no-infecciosas, estén asociadas con la exposición a un ambiente desfavorable y contaminado. Desde el punto de vista epidemiológico, entonces, resulta de interés determinar aquellos riesgos ambientales que afectan la salud humana.

En un reporte de la OMS sobre la carga global de enfermedades atribuidas al ambiente, se analizaron 133 enfermedades y/o lesiones, de ellas,

101 fueron fuertemente asociadas a un componente ambiental, agrupadas en 4 grandes categorías (Prüs-Ustün et al., 2016):

- a) Enfermedades infecciosas y parasitarias
- b) Condiciones nutricias y neonatales
- c) Enfermedades crónico-degenerativas
- d) Lesiones intencionales, no-intencionales y otras.

Bajo este criterio de agrupamiento utilizado por la OMS, existe evidencia de que ciertas enfermedades están estrechamente vinculadas con una deficiente calidad del ambiente o su contaminación, llamadas enfermedades centinelas. El concepto de evento centinela en salud ambiental parte de las definiciones de Rothwell y colaboradores (1991), quienes clasifican las enfermedades “centinela tipo I como aquellos eventos que tienen clara especificidad, periodo de latencia corto y de fácil identificación; además, se caracterizan por tener, en general, baja ocurrencia”. En este sentido, las enfermedades consideradas como eventos centinela tipo I son: intoxicaciones, mesotelioma, angiosarcoma hepático, metahemoglobinemia, neuropatía tóxica, cáncer de células claras en vagina y pubertad precoz. Por otro lado, las enfermedades “centinela tipo II son aquellas que presentan patrones inusuales de ocurrencia” (por ejemplo, “el exceso de casos o patrones espacio-temporales”) y se considera que son factores contribuyentes importantes. Los eventos centinela II varían en número, pero se pueden agrupar en algunos tipos de cáncer (vejiga, pulmón, piel, leucemias, etc.), enfermedades infecciosas y parasitarias (del aparato respiratorio, digestivo, etc.), y algunas crónico-degenerativas como las enfermedades cardiovasculares y cerebrovasculares.

Si bien esta lista ha representado una guía para la elaboración de algunos diagnósticos en salud ambiental (MinAmbiente, 2012), es importante contextualizarla para su uso en determinados lugares donde la prevalencia de ciertas enfermedades de origen ambiental puede presentar variaciones en frecuencia y temporalidad (Aldrich, & Leaverton, 1993). El presente trabajo incluye la información en salud de la ciudad de Hermosillo proveniente del Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica (SINAVE) a través del Sistema Único de Información para la Vigilancia Epidemiológica (SUIVE). El SUIVE genera información homogénea de los servicios de salud en sus diferentes niveles técnico-administrativos de

todo el país. Esta información incluye el registro de la frecuencia, “distribución en tiempo, lugar y persona, factores de riesgo y de consecuencia de las enfermedades que afectan la salud de la población” por niveles; “del nivel local la información es enviada al nivel jurisdiccional donde es concentrada y enviada al nivel estatal y de este al nivel nacional. La información de los niveles correspondientes se concentra y analiza para orientar y apoyar en la toma de decisiones para el diseño y aplicación de planes y programas de salud en todo el país”⁴.

Es importante destacar que la información de vigilancia epidemiológica del SUIVE no es un registro estadístico completo de salud nacional, en sí, “se enfoca en 114 enfermedades consideradas las más relevantes del estado de salud de la población”. De dicho total y en el marco de esta investigación, se extrajeron aquellas que tuvieran relación con los componentes ambientales de aire, agua y residuos municipales del centro de población de Hermosillo, Sonora. Para dichos componentes, existen en el SUIVE alrededor de 20 enfermedades (o grupos de enfermedades o condición mórbida) que pueden ser consideradas como eventos centinela en salud ambiental, con predominio de las enfermedades infecto-contagiosas (tabla 2.2⁵). A pesar de que el SUIVE contempla información relacionada con neoplasias y cáncer, un registro más confiable de estas enfermedades lo tiene el Sistema Estadístico y Epidemiológico de las Defunciones (SEED), el cual también forma parte del mismo SINAVE.

⁴ Para mayor información puede consultar la siguiente página: <https://www.gob.mx/salud/acciones-y-programas/direccion-general-de-epidemiologia-sistema-nacional-de-vigilancia-epidemiologica-vigilancia-epidemiologica>.

⁵ Las variaciones se presentan debido a que no siempre se registran las mismas enfermedades a lo largo del tiempo.

Tabla 2.2

Eventos centinela contenidos en el SUIVE para los componentes ambientales de calidad del aire, calidad del agua y residuos municipales

INFECTOCONTAGIOSAS	DEGENERATIVAS	INTOXICACIONES
Absceso hepático amebiano	Asma	Intoxicación alimentaria bacteriana
Amebiasis intestinal	Enfermedad cerebrovascular	Intoxicación por plaguicidas
Ascariasis	Enfermedad isquémica del corazón	-
Infecciones respiratorias agudas	Hipertensión arterial	-
Enterobiasis	-	-
Fiebre tifoidea, paratifoidea y otras salmonelosis	-	-
Shigelosis	-	-
Teniasis	-	-
Otras infecciones intestinales	-	-
Giardiasis	-	-
Cólera	-	-
Hepatitis A	-	-
Erisipela	-	-
Escabiosis	-	-

Fuente: Elaboración propia con información del SUIVE.

2.4. Marco legal

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, establece en su artículo 4 los derechos que toda persona tiene a la protección de la salud, al acceso al agua para uso y consumo humano en condiciones suficientes y salubres, así como el derecho a disfrutar de un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar. Una de las leyes reglamentarias de lo señalado en la Carta Magna, es la LGEEPA, la cual establece las bases para la prevención y control de la contaminación del aire, agua y suelo. Asimismo, a nivel estatal, la Ley del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente del Estado de Sonora (LEEPAES), establece igualmente las bases para “garantizar el derecho de toda persona a vivir en un medio

ambiente adecuado para su desarrollo, salud y bienestar”. En el artículo 8 de la citada Ley, se señala que, a los municipios, a través de los ayuntamientos, corresponde la formulación, ejecución y evaluación del programa de protección al ambiente, así como la vigilancia en el cumplimiento de las normas oficiales mexicanas relacionadas con la calidad del aire, agua y residuos que no estén reservadas a la federación o al estado. En el capítulo II de la Política Ambiental, se señala en el artículo 22 fracción III que “en la determinación de las áreas para el crecimiento de los centros de población se fomentará la mezcla de los usos habitacionales con los productivos que no representen riesgos o daños a la salud de la población”. Esta misma Ley, en su artículo 39 destaca que el Estado, con la participación de otras autoridades competentes, promoverán el desarrollo de programas para la investigación de las causas y efectos de los fenómenos ambientales en Sonora, para lo cual podrán celebrar convenios con instituciones de educación superior.

Por lo tanto, el marco jurídico ambiental considera que la protección del ambiente conlleva inevitablemente la protección de la salud de la población de manera paralela, y resulta al mismo tiempo, un derecho fundamental garantizado en la Constitución. Esto resulta evidente desde la perspectiva de salud también, ya que la Ley General de Salud toma como materia de salubridad general “la prevención y control de los efectos nocivos de los factores ambientales en la salud humana”.

Esta misma Ley creó a la COFEPRIS, la cual entró en funciones en el 2001, y cuya atribución es, entre otras señaladas en el artículo 17 Bis de la citada Ley, el proponer la política nacional de protección contra riesgos sanitarios, incluida la salud ambiental. No obstante que la Ley General de Salud reconoce que la formulación y la conducción de la política de saneamiento ambiental corresponde a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) a nivel federal, en conjunto con la Secretaría de Salud en materia de salud humana, en su artículo 104 sobre información para la salud establece que: “La Secretaría de Salud y los gobiernos de las entidades federativas, en el ámbito de sus respectivas competencias, y de conformidad con la Ley del Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica, captarán, producirán y procesarán la información necesaria para el proceso de planeación, programación, presupuestación y control del Sistema Nacional de Salud”. Luego añade: “La información se referirá a... factores demográficos, económicos, sociales y ambientales vinculados a la salud”. Ello ha obligado a las auto-

ridades a elaborar los propios programas sectoriales de salud, derivados a su vez de los programas nacionales (y estatales) de desarrollo, que son los planes maestros sobre los cuales se definen las políticas sobre las que se regirá el ejecutivo en turno durante su administración. La COFEPRIS sería ahora la encargada de vigilar los efectos nocivos en la salud debidos a las condiciones que guarda el ambiente general, así como lo relacionado con residuos peligrosos, saneamiento y accidentes que involucren sustancias peligrosas o radiaciones, según lo dispuesto en el artículo 17 Bis de la Ley General de Salud. Estos avances registrados a nivel federal, empero, no se vieron correspondidos a nivel estatal ni mucho menos a nivel municipal (Secretaría de Salud, 2002).

Aunque no existe un reglamento municipal en la materia, la LEE-PAES faculta a los municipios, en su artículo 8 fracción XV, a expedir sus propios Programas Municipales de Protección al Ambiente. Sin embargo, la ausencia de este instrumento fue motivo, incluso, de una denuncia internacional que derivó en la creación de un expediente de hechos por parte de la Comisión de Cooperación Ambiental para América del Norte (CCA), por presuntos incumplimientos del ayuntamiento de Hermosillo (CCA, 2014). Por otro lado, el gobierno federal ha impulsado desde hace varias administraciones, el Programa de Acción Específico titulado *Entornos y Comunidades Saludables*, dentro del marco de políticas internacionales promovidas por la OMS, el cual busca “fomentar que las comunidades y los entornos sean higiénicos, seguros y propicien una mejor salud; impulsar que los municipios aborden de manera integral los determinantes que influyen en el estado de salud de la población; fortalecer las competencias del personal de salud y de los diferentes actores sociales de la comunidad y el municipio” (Secretaría de Salud, 2014). Es por eso que, un objetivo plausible de toda administración municipal preocupada por la salud de su población, sería lograr a través de este programa una certificación como entorno y comunidad saludable, lo cual le permitiría adentrarse en un círculo virtuoso de acceso a mayores recursos que favorezcan una mejor calidad de vida de sus ciudadanos. No obstante, dicho propósito no puede ser logrado sin un diagnóstico preliminar que exponga la situación actual en materia de salud ambiental de dichas comunidades.

Este programa parte de la siguiente premisa: “la salud depende de muchos determinantes”, tales como la “alimentación, la educación, el ingreso económico, los entornos favorables y un ecosistema estable”, lo que hace de la materia de salud una auténtica responsabilidad compartida. En

este sentido, no podemos tener un municipio saludable si no procuramos una salud ambiental del mismo, ya que muchas enfermedades pueden prevenirse a través de ambientes saludables. El concepto de “ciudad saludable” lo viene promoviendo la Organización Panamericana de la Salud (OPS) desde fines del siglo pasado. Se define como “aquella que crea y mejora continuamente sus entornos físicos y sociales y amplía aquellos recursos de la comunidad que permiten el apoyo mutuo de las personas para realizar todas las funciones vitales y conseguir el desarrollo máximo de sus potencialidades (OPS, 2003).

2.5. Bibliografía

- Aldrich, T., & Leaverton, P. (1993). Sentinel event strategies in Environmental Health. *Annual Review of Public Health, 14*, 205-17.
- BID. (2017). *Ciudades emergentes y sostenibles (Hermosillo). Informe final. Módulo 1: Estudio de Mitigación de Cambio Climático*. Banco de Desarrollo de América del Norte.
- Capon, A. (2017). Harnessing urbanization for human wellbeing and planetary health. *Lancet Planetary Health, 1*, e6-7.
- CDC/CLAISS/OPS. (2000). *La salud pública en las Américas. Instrumento para la medición de las funciones esenciales de la salud pública* (Documento de trabajo).
- CONPES. (2008). *Lineamientos para la formulación de la política de salud ambiental con énfasis en los componentes de calidad de aire, calidad de agua y seguridad química* (54 pp.). Consejo Nacional de Política Económica y Social. Departamento Nacional de Planeación, República de Colombia.
- Frumkin, H. (2010). *Salud Ambiental: De lo global a lo local* (1267 pp.). USA: Organización Panamericana de la Salud.
- IMPLAN. (2014). *Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Hermosillo* (285 pp.) Modificación 2014. H. Ayuntamiento de Hermosillo, Sonora.
- IMPLAN. (2017). *Programa de Desarrollo Metropolitano de Hermosillo* (360 pp.). Instituto Municipal de Planeación Urbana, H. Ayuntamiento de Hermosillo. Gobierno del Estado de Sonora. Secretaría de Desarrollo Urbano y Territorial. Boletín Oficial del Estado CXCVIII, No. 22.

- INFONAVIT, SEDATU, ONU-Habitat. (2016). Índice básico de las ciudades prósperas / City Prosperity Index (CPI). *Hermosillo, Sonora, México*. Informe Final Municipal (107 pp).
- INSP. (2013). *Foro Nacional de Salud Ambiental* (61 pp.). Instituto Nacional de Salud Pública. México.
- Marten, G. (2001). *Ecología Humana. Conceptos básicos para el desarrollo sustentable* (295 pp.). USA: Earthscan publications.
- MinAmbiente. (2012). *Diagnóstico Nacional de Salud Ambiental* (368 pp.). República de Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Prüs-Ustün, A., Wolf, J., Corvalán, C., Bos, R., & Neira, M. (2016). *Preventing disease through healthy environments. A global assessment of the burden of disease from environmental risks* (147 pp.). Switzerland: World Health Organization.
- Riojas-Rodríguez, H., Schilman, A., López-Carrillo, L., & Finkelman, J. (2013). La salud ambiental en México: situación actual y perspectivas futuras. *Salud Pública de México*, 55, 638-49.
- Rothwell, C., Hamilton, C., & Leaverton, P. (1991). Identification of sentinel health events as indicators of environmental contamination. *Environmental Health Perspectives*, 94, 261-263.
- Secretaría de Salud. (2002). *Programa de Acción: Salud Ambiental* (209 pp.). México.
- _____ (2014). *Programa de Acción Específico: Entornos y Comunidades Saludables 2013-2018* (86 pp.). Programa Sectorial de Salud. Gobierno de México.
- Vizcaíno-Murray, F. (1975). *La contaminación ambiental en México* (514 pp.). México: Fondo de Cultura Económica.
- Wegner, J. (2010). Ecología y Salud Humana (Capítulo I, pp 3-25). En H. Frumkin (Ed.), *Salud Ambiental: De lo global a lo local*. USA: Organización Panamericana de la Salud.

Metodología aplicada en el diagnóstico de salud ambiental de Hermosillo

Derheyz Ochoa Vea

Hermosillo es la capital del estado de Sonora, hogar de 884,273 habitantes; de acuerdo con la encuesta intercensal realizada en 2015, se posiciona como el municipio con mayor población del estado⁶. Dentro de las actividades económicas predominantes en la localidad se encuentra principalmente la industria, seguida por el comercio y, por último, la agricultura y la ganadería, rubros que al ser explotados de forma continua pueden tener un impacto negativo en el ambiente y, por ende, en la salud de las personas expuestas.

Actualmente, y a pesar del gran número de personas que alberga y a las actividades económicas que se llevan a cabo en el municipio de Hermosillo, este no cuenta con un instrumento base para la toma de decisiones en materia de salud ambiental, útil para estimar la proporción de enfermedades y muertes que pueden ser evitadas en la población al mejorar la calidad del ambiente local. Además, tal instrumento contribuiría así en la orientación óptima de políticas de desarrollo y bienestar del municipio.

Existe la obligación legal de contar con un referente a nivel municipal técnicamente sustentado para la toma de decisiones en materia de

⁶ Para mayor información consultar la siguiente página: http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/inter_censal/estados2015/702825079901.pdf

desarrollo integral y sostenible, por consiguiente, resulta imprescindible contar con un diagnóstico confiable en salud ambiental, que facilite la identificación de los riesgos ambientales existentes en la ciudad que están afectando la salud de su población.

Cabe mencionar que otros factores asociados a la salud ambiental, tales como desastres naturales y antropogénicos, cambio climático, sustancias químicas y radioactivas, biodiversidad y áreas verdes, así como los factores psicosociales (Capon, 2017), no fueron incluidos en el estudio y deberán ser materia de análisis en futuros trabajos.

Por último, es importante destacar que, por razones presupuestales, el presente diagnóstico de salud ambiental comprende únicamente la zona urbana y suburbana del municipio (figura 3.1), la cual concentra a la mayor parte de la población, sin dejar de reconocer que la zona rural alberga grandes desafíos ambientales y de salud que incrementan la vulnerabilidad de sus habitantes.

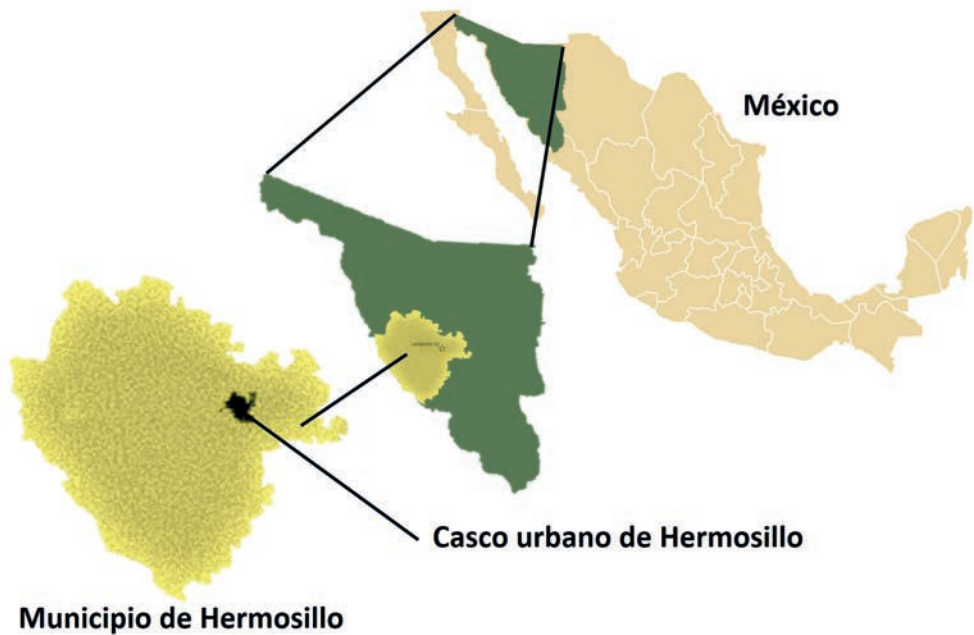


Figura 3.1. Localización del centro de población de Hermosillo, del mismo Municipio

Fuente: Tomado de CCA (2014).

3.1. Investigación documental

Se realizó una investigación documental sobre la información existente y disponible en material impreso y en formato electrónico (internet), de los componentes ambientales de calidad de agua, calidad de aire y residuos municipales, así como de los principales efectos en la salud posiblemente asociados a tales exposiciones ocurridas en el centro de población de Hermosillo en el periodo 2000 al 2017.

La estrategia de acopio se desarrolló en dos momentos consecutivos, determinados por el nivel de especificidad de la información. El primero de ellos, llamado búsqueda extensiva, hace alusión a la horizontalidad de su abordaje, es decir, utilizando como base los determinantes de salud ambiental propuestos por la OPS (Ordóñez, 2000), se incluyó sin discriminar, cualquier información realizada en este sentido en el estado de Sonora. Posteriormente, una vez integradas las cédulas de información por componente ambiental y epidemiológico, se procedió a seleccionar y obtener aquella que fuera más relevante y pertinente para los fines del proyecto, descartando fuentes secundarias de información que no incluyeran el municipio de Hermosillo o estuvieran fuera del periodo de estudio. A este momento de búsqueda y selección un poco más profundo y vertical, se le llamó búsqueda intensiva.

Para realizar la investigación documental en material impreso, se tomaron en cuenta las siguientes fuentes de información:

- Revisión de los artículos científicos publicados en revistas locales, nacionales e internacionales sobre salud ambiental, así como aquellos relacionados con calidad de agua, calidad del aire y residuos del centro de población de Hermosillo.
- Revisión de libros, reportes técnicos, informes selectos y hemerográficos sobre salud ambiental de Hermosillo.
- Revisión de tesis de licenciatura y posgrado sobre salud ambiental, así como de calidad del agua, calidad del aire y residuos en el centro de población de Hermosillo.
- Revisión de registros en Hermosillo de calidad del aire y del agua, así como de la cantidad y naturaleza de los residuos municipales del periodo bajo estudio.
- Revisión de registros epidemiológicos en Hermosillo, sobre la morbilidad asociada con eventos centinela reportados por la Secretaría de Salud a través del SUIVE.

Este material se obtuvo por medio de visitas a bibliotecas de universidades y centros de investigación locales, así como las de la red de bibliotecas públicas ubicadas en la ciudad; además de las diferentes dependencias públicas de los tres niveles de gobierno relacionadas con la salud pública y la calidad ambiental, con el fin de recabar y analizar toda la información relevante para elaborar un diagnóstico preciso, válido y pertinente. Ello implicó, asimismo, la realización de algunas entrevistas a funcionarios de las diferentes dependencias públicas, así como a investigadores que han contribuido con sus trabajos en el acervo de conocimientos en materia de salud ambiental de Hermosillo.

Por otro lado, la mayor cantidad de información se obtuvo en formato electrónico a través del internet. Se consultaron bases de datos electrónicas de acceso gratuito y otras con acceso pagado por la Universidad de Sonora para consulta de publicaciones científicas y tecnológicas. Las bases de datos que se consultaron fueron Latindex, Redalyc®, Dialnet, SciELO, Bireme/LILACS DOAJ® y Google Académico. También se revisaron EBSCO®, Thomson-Reuters®, ScienceDirect®, Springer® y PubMed, utilizando los criterios de búsqueda antes señalados tanto para la extensiva como para la intensiva. Finalmente, la información recabada en esta etapa se clasificó y organizó de acuerdo con la confiabilidad y evidencia científica de la fuente, según el siguiente orden: i) artículos de revistas arbitradas; ii) tesis de posgrado y licenciatura; iii) informes y reportes técnicos; iv) libros y revistas de divulgación científica; y v) otros (capítulo 9).

3.2. Registro de enfermedades

Las enfermedades asociadas con el ambiente y registradas en Hermosillo del año 2000 al 2017, provienen en su mayoría de los sistemas que componen el SINAVE. Este sistema se alimenta de los casos nuevos que reportan las unidades del Sector Salud, incorporadas a un sistema de vigilancia epidemiológica que utiliza una plataforma digital y concentra la información en una base de datos sistematizados (llamado Sistema Único Automatizado para la Vigilancia Epidemiológica o SUAVE). Este sistema contiene un catálogo de 168 enfermedades de interés epidemiológico, apegado a la Clasificación Internacional de las Enfermedades en su 10ª revisión (CIE-10), por grupos quinquenales de edad, sexo, instituciones de salud y hasta por unidad notificante.

Es muy importante destacar que el SUAVE agrupa las enfermedades en las siguientes categorías:

- a) Prevenibles por vacunación
- b) Aparatos y sistemas
- c) Transmitidas por vector
- d) Zoonosis
- e) Otras enfermedades transmisibles
- f) Enfermedades bajo vigilancia sindromática
- g) Enfermedades no transmisibles
- h) Nutrición
- i) Displasias y neoplasias
- j) Enfermedades neurológicas y de salud mental
- k) Accidentes
- l) Defectos al nacimiento
- m) Enfermedades de interés local o regional

También se consultó la información disponible de la Dirección General de Información en Salud⁷, donde se accedió a las bases de datos y a los cubos dinámicos de información del Sistema Nacional de Información en Salud (SINAIS).

Cabe destacar que el reporte de casos nuevos incluye casos probables o confirmados⁸, según sea su estatus al momento del corte de la información; este sistema de información se encuentra clasificado en enfermedades prevenibles por vacunación, transmisibles, no transmisibles y accidentes. Por esta razón se seleccionaron algunos rubros que abarcan varias enfermedades y/o algunas que comparten ciertas afecciones por apartados y sistemas, llegando a concentrar hasta 90% de lo registrado, por ejemplo, las infecciones intestinales por otros organismos y las mal

⁷ Tomado del portal electrónico: <http://www.dgis.salud.gob.mx>

⁸ Caso probable: toda persona que tiene la sintomatología específica de una enfermedad o Definición Operacional de Caso (DOC) y que no se ha realizado estudios de laboratorio para corroborar el diagnóstico.

Caso confirmado: toda persona que tiene la sintomatología específica de una enfermedad y cuenta con estudios de laboratorio que lo confirman.

definidas (A04, A08-A09, excepto A08.0), así como las infecciones respiratorias agudas (J00-J06, J20, J21, excepto J02.0 y J03.0).

En el rubro de los tumores malignos, se consultó el Sistema Epidemiológico y Estadístico de las Defunciones (SEED), otro sistema de información que también forma parte del SINAVE, el cual concentra año por año todas las defunciones ocurridas en el país. Si bien lo que se intentó caracterizar fueron los casos, una de las debilidades de los sistemas consultados es la falta de consistencia en algunas patologías, de ahí la importancia de que estas defunciones se basen en un sistema de clasificación de los diagnósticos de causa básica y asociada, apegado a la CIE-10; además de que cada defunción sea sometida a un meticuloso sistema de codificación, con lo cual se minimizarían los sesgos de información por mala clasificación.

Este sistema aportó información de las patologías que no cuentan con datos consistentes y que, independientemente de tener como causa de muerte el cáncer, las personas registradas padecieron esa enfermedad y ello nos permitirá conocer el comportamiento de la enfermedad en el mismo periodo de tiempo (2000-2017).

3.3. Visualización de datos y síntesis cualitativa

Los datos recabados y organizados en la investigación documental fueron utilizados para la elaboración de tablas y gráficas. De esta manera, es posible identificar más fácilmente los criterios para determinar la calidad del agua, la calidad del aire y los residuos municipales presentes en el centro de población de Hermosillo que están afectando la salud de su población, así como su variabilidad espacio-temporal a lo largo del presente siglo. Los datos de morbilidad de eventos centinela en salud ambiental para el centro de población de Hermosillo, Sonora, se obtuvieron de los registros computarizados del SINAVE y del SINAIS.

Este trabajo representa la fase descriptiva del diagnóstico de salud ambiental para la ciudad de Hermosillo, Sonora. La síntesis cualitativa se presenta en forma de tablas de contingencia, cuyos componentes ambientales y el epidemiológico son descritos en los capítulos previos.

En consonancia con los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS), el presente diagnóstico debe complementarse con la elaboración de un análisis comparativo de riesgos, en el que sea posible asociar de forma más sólida la deficiente calidad de los componentes estudiados con la salud de

los individuos que se encuentran expuestos a los mismos. Sin embargo, para dicho fin, resulta imprescindible la construcción de indicadores de salud ambiental que partan de los componentes antes mencionados. No fue posible cubrir dicho aspecto en esta etapa del análisis, pero será alcanzable posteriormente gracias a la información recabada en el presente estudio inicial (Maurice, 2016).

Por último, y una vez concluida la evaluación, se podrá desarrollar un sistema de información geográfica a una escala municipal, que permitirá ubicar los riesgos identificados para la salud de la población de Hermosillo expuesta por sector.

3.3.1. Indicadores de salud ambiental

Para llevar a cabo la evaluación de los riesgos ambientales a la salud identificados en la etapa diagnóstica, es necesario determinar primero los indicadores de salud ambiental que serán evaluados. La utilización de indicadores permite medir características de interés para un estudio en particular, por lo tanto, la elección adecuada de una variable relevante al fenómeno como indicador es fundamental (López-Blanco, & Rodríguez-Gamiño, 2009).

Por tal motivo y con la finalidad de contrastar los resultados con estudios similares a nivel global, se deberán tomar como referencia tanto los ODS establecidos por la asamblea de la ONU, como lo desarrollado para el estudio de Carga Global de Enfermedad (*Global Burden of Disease Study*, por su nombre original en inglés); instrumentos que proporcionan los puntos a tomar en cuenta para la adecuada selección de los indicadores en salud ambiental, tal como se ejemplifica en la tabla 3.1 (Murray, 2015).

Tabla 3.1*Objetivos para el Desarrollo Sostenible relacionados con salud y sus indicadores*

Descripción de los objetivos para el desarrollo sostenible	Indicador propuesto
2.2 Para 2030, poner fin a todas las formas de malnutrición, incluso logrando, a más tardar en 2025, las metas convenidas internacionalmente sobre el retraso del crecimiento y la emaciación de los niños menores de 5 años, y abordar las necesidades de nutrición de las adolescentes, las mujeres embarazadas y lactantes y las personas de edad.	Prevalencia menor a 2 desviaciones estándar de niños que presentan retraso del crecimiento y emaciación (GBD*).
3.1 Para 2030, reducir la tasa mundial de mortalidad materna a menos de 70 por cada 100,000 nacidos vivos.	Muertes maternas por cada 100,000 nacidos vivos (GBD*).
3.2 Para 2030, poner fin a las muertes evitables de recién nacidos y de niños menores de 5 años, logrando que todos los países intenten reducir la mortalidad neonatal al menos hasta 12 por cada 1,000 nacidos vivos, y la mortalidad de niños menores de 5 años al menos hasta 25 por cada 1,000 nacidos vivos.	Tasa de mortalidad infantil en niños menores de 5 años (GBD).
3.3 Para 2030, poner fin a las epidemias del SIDA, la tuberculosis, la malaria y las enfermedades tropicales desatendidas y combatir la hepatitis, las enfermedades transmitidas por el agua y otras enfermedades transmisibles.	Años de vida ajustados por discapacidad por SIDA, tuberculosis, malaria, enfermedades tropicales desatendidas, hepatitis y diarreas por cada 100,000 habitantes (GBD*).
3.4 Para 2030, reducir en un tercio la mortalidad prematura por enfermedades no transmisibles mediante la prevención y el tratamiento y promover la salud mental y el bienestar.	Años de vida perdidos por enfermedades no transmisibles por cada 100,000 habitantes (GBD*).
3.5 Fortalecer la prevención y el tratamiento del abuso de sustancias adictivas, incluido el uso indebido de estupefacientes y el consumo nocivo de alcohol.	Años de vida ajustados por discapacidad atribuidos al uso de sustancias adictivas y alcohol por cada 100,000 habitantes (GBD*).
3.6 Para 2020, reducir a la mitad el número de muertes y lesiones causadas por accidentes de tráfico en el mundo.	Lesiones causadas por accidentes de tráfico por cada 100,000 habitantes (GBD*).
3.7 Para 2030, garantizar el acceso universal a los servicios de salud sexual y reproductiva, incluidos los de planificación de la familia, información y educación, y la integración de la salud reproductiva en las estrategias y los programas nacionales.	% de habitantes de entre 15-49 años con una cobertura básica de servicios relacionados con salud reproductiva.
3.8 Lograr la cobertura sanitaria universal, en particular la protección contra los riesgos financieros, el acceso a servicios de salud esenciales de calidad y el acceso a medicamentos y vacunas seguros, eficaces, asequibles y de calidad para todos.	(a) % de hogares con gastos catastróficos de salud en un año y (b) % de la población con cobertura efectiva de un paquete de atención básica en salud.

3.9	Para 2030, reducir sustancialmente el número de muertes y enfermedades producidas por productos químicos peligrosos y la contaminación del aire, el agua y el suelo.	Años de vida ajustados por discapacidad atribuidos a la contaminación por 100,000 habitantes (GBD*).
3.a	Fortalecer la aplicación del Convenio Marco de la Organización Mundial de la Salud para el Control del Tabaco en todos los países, según proceda.	% de habitantes menores de 18 años que fuman diariamente (GBD*).
3.b	Apoyar las actividades de investigación y desarrollo de vacunas y medicamentos para las enfermedades transmisibles y no transmisibles que afectan primordialmente a los países en desarrollo y facilitar el acceso a medicamentos y vacunas esenciales asequibles de conformidad con la Declaración de Doha relativa al Acuerdo sobre los ADPIC y la Salud Pública, en la que se afirma el derecho de los países en desarrollo a utilizar al máximo las disposiciones del Acuerdo sobre los Aspectos de los Derechos de Propiedad Intelectual Relacionados con el Comercio en lo relativo a la flexibilidad para proteger la salud pública y, en particular, proporcionar acceso a los medicamentos para todos.	% de la población con acceso regular a medicamentos esenciales.
3.c	Aumentar sustancialmente la financiación de la salud y la contratación, el desarrollo, la capacitación y la retención del personal sanitario en los países en desarrollo, especialmente en los países menos adelantados y los pequeños Estados insulares en desarrollo.	% de la población con acceso a un paquete completo de atención básica en salud.
3.d	Reforzar la capacidad de todos los países, en particular los países en desarrollo, en materia de alerta temprana, reducción de riesgos y gestión de los riesgos para la salud nacional y mundial.	Gastos en vigilancia y respuesta por persona.
5.2	Eliminar todas las formas de violencia contra todas las mujeres y las niñas en los ámbitos público y privado, incluidas la trata y la explotación sexual y otros tipos de explotación.	Feminicidios por 100,000 (GBD*).

*GBD (Carga Global de Enfermedad, en español)

Fuente: Murray (2015).

3.3.2. Parámetros para la selección de Indicadores de Salud Ambiental (ISA) según la ONU

Es importante mencionar que a pesar de la existencia de un amplio número de ODS (169 para ser exactos), que requieren ser considerados al momento de elegir los indicadores de salud ambiental a estudiar, se tiene la posibilidad, en ciertos casos, de elegir un mismo parámetro que cubra varios objetivos. No obstante, existen cuatro criterios fundamentales que deberán ser cubiertos al momento de elegir dichos parámetros, los cuales se mencionan a continuación (Murray, 2015):

- Relevancia para la salud de la población. Los indicadores seleccionados además de proporcionar los datos cuantitativos requeridos deberán elegirse en función de las necesidades de salud de la comunidad en estudio.
- Fácil interpretación y comunicación. Es decir, que los valores obtenidos deberán ser entendibles, tanto para la comunidad científica como pública al momento de tomar decisiones a partir de los mismos.
- Alcanzable y comparable. Las mediciones deberán ser válidas, oportunas y acordes con el lugar de estudio, lo que permitirá el contraste con trabajos realizados en regiones similares.
- Clasificable. Los valores deberán ser categorizados por edad, género y ubicación, para facilitar su comparación.

3.4. Modelo Corvalán

La propuesta de ISA puede ser enriquecida con algunos criterios que propuso el modelo desarrollado por Corvalán y colaboradores para la OMS en 1995, llamado modelo de Fuerzas motrices-Presión-Estado-Exposición-Efecto-Acción (FPEEEA), el cual permite generar indicadores basados en datos de morbilidad y mortalidad, pero integrando multisectorialmente aspectos socioeconómicos, ambientales y sanitarios (Schütz et al., 2008).

De acuerdo con el modelo, la determinación de los indicadores ambientales responde a la definición precisa del problema, lo que a su vez permite la selección de las mejores acciones a seguir para la gestión adecuada de la salud ambiental comunitaria. Sin embargo, en el diagnóstico de salud ambiental se emplearon solamente los componentes de presión, estado, exposición y efecto del modelo, los cuales facilitarán la evaluación de los riesgos ambientales para la salud, a partir de la identificación de los elementos ambientales que potencialmente están incidiendo en el perfil epidemiológico de la población expuesta. Un modelo conceptual puede resumir de forma gráfica los resultados del diagnóstico y servir de guía para el desarrollo de la evaluación de los riesgos.

3.5. Análisis Comparativo de Riesgos (ACR)

Una vez determinados los ISA, se pueden evaluar los riesgos ambientales a la salud de estos indicadores, mediante el método de Análisis Comparativo de Riesgos (ACR), tomando en cuenta la magnitud y severidad de los riesgos y/o las oportunidades relativas de reducción de los mismos (Evans et al., 2003). El objetivo sería identificar las áreas de mayor riesgo a la salud de la población a partir de las condiciones ambientales existentes en la ciudad, de tal manera que, utilizando un marco de referencia, se puedan llegar a jerarquizar posteriormente las prioridades ambientales para la toma de decisiones.

La metodología general de un ACR incluye la etapa de planeación, análisis, jerarquización y, al final, el reporte. Dada la heterogeneidad esperada en la cantidad y calidad de la información relativa a la salud ambiental del centro de población de Hermosillo, los métodos semicuantitativos propuestos resultan apropiados para integrar, evaluar y jerarquizar mejor los riesgos encontrados (Carrillo-González et al., 2008).

Más tarde, se diseñará un Sistema de Información Geográfica (SIG) de riesgos ambientales en salud del centro de población con base en el programa Q-GIS® versión 2.18, para su mejor visualización y análisis.

3.6. Sistema de Información Geográfica (SIG)

Tal como Argyris-Nikolaos y colaboradores (2019) mencionan en su artículo “*Advances in Spatial Risk Analysis*”, actualmente vivimos en un mundo donde la información espacial en tiempo real se encuentra al alcance de todos, debido a la información satelital percibida por medio de una computadora, un celular, un sistema GPS⁹, o cualquier otro dispositivo similar. Dicha disponibilidad, aunada a los avances que en materia de sistemas de información geográfica se han logrado, es posible construir modelos que representen de forma gráfica y veraz los riesgos de salud ambiental que se presentan en las poblaciones.

El objetivo de la construcción de un SIG a partir de los datos obtenidos durante el análisis de riesgo que se pretende llevar a cabo con la información recabada en este primer abordaje, radica en la creación de un instrumento de fácil acceso y de gran utilidad que podrá ser consultado para la

⁹ Geo-posicionador satelital o GPS: instrumento utilizado para determinar las coordenadas geográficas de un sitio por medio de señales de satélites.

toma de decisiones en materia de salud y bienestar para los habitantes del centro de población de Hermosillo.

Por tal motivo, se pretende que el SIG creado tenga al menos los siguientes beneficios (Landrigan et al., 2018):

- Fácil identificación de comunidades expuestas a las diferentes fuentes de contaminación analizadas.
- Periódica actualización de acuerdo con los descubrimientos y necesidades que con el tiempo puedan surgir.
- Entendible para público en general.
- Información oportuna para la toma de decisiones al momento de crear políticas públicas relacionadas con el control de la contaminación, ya que mostrará que la contaminación es un problema local.
- Cuantificación de costos municipales debidos a la contaminación, puesto que mostrará la extensión geográfica y las poblaciones afectadas por este fenómeno.
- Posible asociación con mapas que muestren la distribución de los padecimientos asociados con la exposición a contaminantes ambientales, con la finalidad de determinar los posibles daños que los componentes ambientales analizados están causando a la salud de la población de la ciudad.

3.7. Bibliografía

- Argyris, N., Ferretti, V., French, S., Guikema, S., & Montibeller, G. (2019). Advances in Spatial Risk Analysis. *Risk Analysis*, 39(1), 1-8.
- Capon, A. (2017). Harnessing urbanization for human wellbeing and planetary health. *Lancet Planetary Health*, 1, e6-7.
- Carrillo-González, G. M., Gómez-Ramírez, O. J., & Vargas-Rosero, E. (2008). Metodologías en Metasíntesis. *Ciencia y Enfermería*, 15(2), 13-9.
- CCA. (2014). *Contaminación Ambiental en Hermosillo II. Expediente de hechos relativo a la petición SEM-05-003* (116 pp.). Montreal, Canadá: Comisión de Cooperación Ambiental.
- Evans, J., Fernández-Bremauntz, A., Gavilán-García, A., Ize-Lema, I., Martínez-Cordero, M. A., Ramírez-Romero, P., & Zuk, M. (2003). *Introducción al Análisis de Riesgos Ambientales* (128 pp.). México: INE-SEMARNAT.

- Landrigan, P., Fuller, R., Hu, H., Caravanos, J., Cropper, M., Hanrahan, D., Sandilya, K., Chiles, T., Kumar, P., & Suk, W. (2018). Pollution and Global Health. An Agenda for Prevention. *Environmental Health Perspectives* 126(8), 084501-1-084502-6.
- López-Blanco, J., Rodríguez-Gamiño, M. L. (2009). *Desarrollo de Indicadores Ambientales y de Sustentabilidad* (197 pp.). México: UNAM.
- Maurice, J. (2016). Measuring progress towards the SDGs. A new vital science. *The Lancet*, 388, 1455-8.
- Murray, C. (2015). Choosing indicators for the health-related SDG. *The Lancet*, 386(1), 1314-1317.
- Ordoñez, G. (2000). Salud ambiental: conceptos y actividades. *Revista Panamericana de Salud Pública/Pan Am J Public Health*, 7(3), 137-47.
- Secretaría de Salud. (2002). *Programa de Acción: Salud Ambiental* (209 pp.). México.
- Schütz, G., Hacon, S., Silva, H., Moreno-Sánchez, A. R., & Nagatani, K. (2008). Principales marcos conceptuales aplicados para la evaluación de la salud ambiental mediante indicadores en América Latina y El Caribe. *Rev Panam Salud Pública*, 24(4), 276-85.

Calidad del agua y salud en el centro de población de Hermosillo

*Arturo Ojeda De la Cruz
Ana Laura Bautista Olivas*

La calidad del agua potable es un tema que preocupa a los países de todo el mundo, debido a sus implicaciones en la salud pública. Por ello, la OMS considera que el agua salubre y de fácil acceso es necesaria para la salud humana, cualquiera que sea su uso: alimenticio, uso doméstico y fines recreativos (OMS, 2017c), ya que el adecuado abastecimiento del recurso, su saneamiento y gestión, son alicientes para el progreso económico a nivel mundial, así como para la disminución de la pobreza.

De esta manera, la Asamblea General de las Naciones Unidas reconoció en el año 2010, el derecho humano al abastecimiento y saneamiento de agua, es decir, que todas las personas tienen el derecho de disponer de agua en cantidad suficiente; de forma continua y salubre; de fácil acceso y calidad aceptable para su uso personal y doméstico (ONU-DAES, 2015).

El impacto de la calidad del agua sobre la salud pública se presenta “a través de los sistemas de abastecimiento de agua, en la alteración de las características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas” (Torres et al., 2009). Esto implica un riesgo significativo, “al transportar agentes contaminantes que puedan causar enfermedades de origen hídrico al hombre y a los animales o alterar el normal desempeño de las labores dentro del hogar o la industria” (Sabogal, 2000).

Así, el riesgo de contraer enfermedades se define como agudo cuando se relaciona con la posibilidad de enfermarse en corto plazo (v.gr., “la contaminación microbiológica”); el riesgo crónico, se “vincula con la presencia de contaminantes de naturaleza química como compuestos orgánicos e inorgánicos que afectan la salud del ser humano después de largos períodos de exposición” (Guerra, 1993).

De acuerdo con la OMS (2017c), al menos 2,000 millones de personas en el mundo consumen agua potable de algún surtidor contaminado por heces, en consecuencia, la transmisión de diarreas, cólera, disentería, fiebre tifoidea, poliomielitis, entre otras enfermedades, está a la orden del día (tabla 4.1).

Tabla 4.1

Enfermedades relacionadas con el agua

GRUPO	ENFERMEDADES
Enfermedades transmitidas por el agua	<ul style="list-style-type: none"> • Cólera • Tifoidea • Disentería bacilaria • Hepatitis infecciosa • Leptospirosis • Giardiasis • Gastroenteritis
Enfermedades debido a la carencia del agua	<ul style="list-style-type: none"> • Infecciones de los ojos y la piel • Conjuntivitis • Salmonelosis • Tracoma • Fiebre paratifoidea • Ascariasis
Enfermedades causadas por agentes infecciosos esparcidos por el contacto y/o ingestión de agua	<ul style="list-style-type: none"> • Fiebre amarilla • Malaria • Arbovirus • Dengue

Fuente: CONAGUA (2007).

Las “enfermedades hídricas” tienen su origen en microorganismos que proceden de las heces, humanas o animales, esto se debe a la contaminación biológica de aguas subterráneas o fuentes de distribución de agua limpia por penetración de aguas negras; desatención de las fuentes de

abastecimiento; “escurrimientos de agua contaminada hacia los mantos freáticos”; una mala higiene de los consumidores; fallas en “el acondicionamiento del agua”, entre otras condiciones (CONAGUA, 2007). Los efectos pueden ser inmediatos (“diarrea, metahemoglobinemia”); transcurrido cierto tiempo (“años, en el caso del cáncer; semanas, en la hepatitis vírica”). Y como se puede entender, algunos de estos padecimientos son mortales o afectan a poblaciones específicas, niños, adultos mayores, etc. (OMS, 2006b). De esta forma, se estima que “la contaminación del agua potable provoca más de 502,000 muertes en la población por diarrea cada año” (OMS, 2017c).

4.1. Características y normatividad

La calidad del agua es un “atributo que mide las propiedades físicas, químicas y biológicas del líquido” (Peters et al., 2009). Y dada la centralidad y su condición necesaria para la vida, cualquier uso dado al agua requiere de “estándares de calidad” aplicables según sea el caso (UNDP et al., 2000).

En este sentido, la OMS (2006a) establece que las sustancias de mayor observación en la calidad del agua potable son aquellas de importancia en la salud, y que se conocen por estar presentes en grandes concentraciones en las fuentes de abastecimiento. Por ello, la OMS elabora normas internacionales en forma de guías, relacionadas con la calidad del agua y la salud de las personas, en las que se basan reglamentos y normas de países de todo el mundo cualquiera que sea su condición.

La finalidad de las Guías para la calidad del agua de consumo humano que emite la OMS, es la protección de la salud pública. Dichas guías son las fuentes de información sobre seguridad del agua de consumo humano, cuya función es orientar y gestionar los riesgos del vital líquido, extensivos a otras “fuentes de exposición a esos peligros, tales como los residuos, el aire, los alimentos y los productos de consumo” (OMS, 2018).

4.1.1. Guía para la calidad del agua potable

Sirve como referente para asegurar el uso adecuado del agua, así como señalar a los actores, tanto institucionales como independientes, sus funciones y responsabilidades en el sector del agua; incluye, además, reglamentaciones dirigidas a proveedores, comunidades y “organismos de vigi-

lancia independientes”. Contiene datos y metodologías para “garantizar la inocuidad microbiológica del agua potable, en particular por medio de planes de salubridad del agua completos y aplicados a sistemas concretos; información científica actual, de numerosos productos químicos y agentes patógenos transmitidos por el agua” (OMS, 2006a).

En México, la normatividad que se relaciona con la calidad del agua, uso potable y riesgos sanitarios asociados al uso y consumo humano, es la siguiente:

4.1.2. Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

Declara en su artículo 4.º que:

Toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible. El Estado garantizará este derecho y la ley definirá las bases, apoyos y modalidades para el acceso y uso equitativo y sustentable de los recursos hídricos, estableciendo la participación de la federación, las entidades federativas y los municipios, así como la participación de la ciudadanía para la consecución de dichos fines.

4.1.3. Ley General de Salud

Que faculta al Sector Salud para emitir las normas técnicas a las que debe sujetarse el tratamiento del agua para uso y consumo humano (Art. 118, frac. II), así como vigilar y certificar la calidad de la misma (Art. 119, frac. II).

4.1.4. Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Control Sanitario de Actividades, Establecimientos, Productos y Servicios

Establece que: “el responsable de un sistema de abastecimiento de agua deberá notificar de inmediato a la autoridad sanitaria, de cualquier incidente o accidente en los componentes del sistema, que dé lugar a modificaciones en la calidad del agua, haciéndola impropia para consumo humano” (Art. 101). En otro artículo, nos dice que “se considera agua potable o agua apta para consumo humano, toda aquella cuya ingestión no cause efectos nocivos a la salud... cuando se encuentra libre de gérmenes patógenos y de sustancias tóxicas” (Art. 209).

4.1.5. Normas Oficiales Mexicanas

Las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) se deben cumplir obligatoriamente. Para el caso que nos ocupa, indican los límites permisibles de calidad y tratamientos de potabilización para el agua:

- NOM-127-SSA1-1994. En su modificación del año 2000, esta norma establece los límites permisibles de contaminantes físicos (color y turbiedad); microbiológicos (coliformes fecales); organolépticos (olor y sabor); y químicos (aluminio, arsénico, cadmio, cloruros, cobre, fluoruros, hidrocarburos, nitritos, nitratos y plomo, entre otros) en el agua para uso y consumo humano.
- NOM-179-SSA1-1998. A partir de su publicación en 2001, la vigilancia y evaluación del control de calidad del agua para uso y consumo humano, distribuida por sistemas de abastecimiento público han sido regulados por esta norma.
- NOM-230-SSA1-2002. Define el muestreo de calidad del agua y los procedimientos que son requisitos necesarios a cumplir por los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua para uso y consumo humano.

Adicionalmente, la Ley Federal de Derechos, Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales (SEMARNAT-CONAGUA, 2015), establece los derechos de los ciudadanos en cuanto al uso o aprovechamiento de bienes del dominio público de la Nación, como “cuerpos receptores de las descargas de aguas residuales”. En dicho contexto, en su Art. 222 establece que “las personas físicas y morales que usen, exploten o aprovechen aguas nacionales, están obligadas al pago del derecho sobre agua”, eximiendo del mismo (Art. 224 Frac. I-V), a quienes extraigan o deriven aguas nacionales con fines agropecuarios, con el fin de cubrir sus necesidades domésticas y las de sus animales, siempre y cuando no se desvíe el cauce natural; o por “el uso o aprovechamiento de aguas residuales, cuando se deje de usar o aprovechar agua distinta a esta en la misma proporción o cuando provengan directamente de colectores de áreas urbanas o industriales” (De la Parra-Rentería, 2017).

Dicha Ley, también proporciona los lineamientos de calidad de agua de acuerdo con diferentes usos: abastecimiento para uso público urbano, riego agrícola y protección a la vida acuática (continental y costera). Y

establece en el Art. 276 que el pago del derecho de agua, no exime a los responsables de las descargas de aguas residuales del cumplimiento de los límites máximos permitidos por las NOM y bajo sus condiciones particulares, de conformidad con la Ley referida.

Si bien la complejidad de las sustancias químicas presentes en fuentes de agua tiene una relación directa con las actividades socioeconómicas desarrolladas en una cuenca y las características de los suelos, se han establecido cuatro factores para estimar la calidad química del agua con independencia de otras sustancias químicas “seleccionadas de acuerdo con condiciones locales: arsénico, fluoruro, nitratos y selenio por su demostrado efecto perjudicial para la salud” (Thompson et al., 2007).

4.2. El agua y la salud pública de Hermosillo

4.2.1. Antecedentes

La ciudad de Hermosillo se abastece de varias zonas de captación de agua superficial y subterránea. En las décadas anteriores, la fuente de agua tradicional fue superficial, la cual se conformó por la presa Abelardo L. Rodríguez, donde arribaban los escurrimientos de los ríos Sonora, San Miguel y Zanjón (cuenca del río Sonora). Sin embargo, esa presa está fuera de servicio y en desuso desde el año 1997.

Por lo anterior, la ciudad comenzó a depender de los pozos que se encontraban en áreas de captación cercanas, principalmente Mesa del Seri, el ejido La Victoria y la región Willard, cuyo uso está referido a la zona industrial y la planta Ford de Hermosillo. Ante tal situación, recurrir al suministro a partir del nivel subterráneo ha venido a ser la solución, a pesar de la gran cantidad de energía empleada para tal fin (Pineda, 2007).

No obstante, la fuente de agua subterránea también ha sido afectada, debido principalmente a la falta de recarga de los acuíferos, consecuencia de la escasez de precipitaciones pluviales y escurrimientos de agua en la cuenca del río Sonora. A partir del mes de junio de 2004, se observó una disminución en el gasto máximo que provee a la ciudad para el mismo mes del año siguiente, ya que bajó de 3625 a 2649 l/s, lo que representa un decremento de 30 % (López-Ibarra, 2005).

En consecuencia, en el año 2010 la ciudad de Hermosillo fue declarada como “zona de emergencia”, y se inició el programa de tandeo para los usuarios, es decir, el suministro de agua por cierto número de horas al día;

esto obligó a las autoridades a construir el acueducto Independencia, para transferir agua desde la presa El Novillo, a una distancia de 145 km (Ojeda, 2013). Hoy por hoy, son un estimado de 100 pozos que suministran agua subterránea gracias al acueducto que la conduce desde “la presa El Molinito, ubicados todos en la cuenca del río Sonora, cuyos escurrimientos son reducidos” (Salazar, & Pineda, 2010).

Pineda y colaboradores (2014) señalan que la sobreextracción que se registra en la Costa de Hermosillo, tiene una concesión de “325 Mm³ (millones de metros cúbicos)”, pero Olavarrieta (2010), indica que en el año 2007 se extrajeron hasta 377 Mm³. Para esta zona, se ha estimado una recarga de este acuífero de 250 Mm³, de este total, un estimado de 100 Mm³ proviene de agua del mar (Monreal et al., 2002), lo que implica que se extrae más agua de la concesionada. Por lo tanto, este desbalance hidrológico deriva en la explotación no sustentable del acuífero.

4.2.2. Estudios sobre la calidad del agua y la salud pública

Las investigaciones sobre la calidad del agua y su relación con la salud de la población en la ciudad de Hermosillo son escasas. Enseguida, se presentan los resultados de la revisión de la literatura científica, respecto de la información que se ha generado en los últimos años.

De acuerdo con el Ayuntamiento de Hermosillo (2015), la calidad del agua del suministro de agua potable se determinó por diversos parámetros fisicoquímicos (tabla 4.2). Se encontró que ninguno de ellos excede los límites permisibles por la NOM-179-SSA1-1998. Sin embargo, algunas investigaciones científicas desarrolladas en la entidad, demuestran que el agua suministrada a la comunidad puede incidir en la salud de la población, debido a la presencia de algunos contaminantes que disminuyen su buena calidad. Entre ellas, se encuentra la de Valenzuela-Vásquez y colaboradores (2006), quienes estudiaron la zona conocida como La Victoria, una de las áreas de captación de agua subterránea de la ciudad. Esta área se ubica al noreste de la misma, a 13 km en el valle aluvial formado por los ríos Zanjón y San Miguel, entre los poblados Pesqueira y La Victoria.

En dicho estudio se evaluaron durante el periodo 1995-2003, 15 pozos que abastecen a la ciudad de Hermosillo; se correlacionaron el pH del agua, la temperatura y el contenido de fluoruros, calcio, carbonato y bicarbonato. Los resultados mostraron que los pozos de la colonia Bugambillas al norte de la ciudad, presentaron la mayor concentración de

fluoruros en el agua: 361% arriba de la concentración establecida como óptima; por su parte, la colonia Cuauhtémoc, ubicada al sur, mantuvo una cantidad 30% mayor; en tanto la colonia Balderrama (centro), una concentración 10% menor de la óptima. Al comparar dichos valores con los límites máximos permisibles que establece la NOM-127-SSA1-1994 (Secretaría de Salud, 2000), equivalentes a 1.5 mg/l, la colonia Bugambillas registró una concentración superior en 84.7%, mientras que las colonias Cuauhtémoc y Balderrama presentaron valores por debajo, 47.7% y 64%, respectivamente (Grijalva-Haro et al., 2001). Los pozos que se sitúan en el margen poniente del río San Miguel y oriente del río Sonora, presentaron altos contenidos de flúor (F) y una temperatura del agua atípicamente elevada. Estos valores tuvieron una correlación positiva con el F: los valores anómalos de temperatura y concentraciones de F se encontraron en los pozos El Tronconal y Bloquera, con valores de 38.67°C y 7.59 mg/l, así como 38.8°C y 7.33 mg/l, respectivamente. De la misma forma, se encontró una correlación positiva entre la cantidad atípica de F y el pH (Valenzuela-Vásquez et al., 2006).

Tabla 4.2

Análisis fisicoquímico del agua de suministro público de la ciudad de Hermosillo, Sonora 2015

PARÁMETROS	UNIDAD	LÍMITE PERMISIBLE	NORTE BAJA	NORTE ALTA	CENTRO	SUR ALTA	ZONA SUR BAJA
Alcalinidad F	mg/l	NC	0	0	0	0	0
Alcalinidad Total	mg/l	400	172.4	183.9	217.1	81.6	225.5
Bicarbonatos	mg/l	NC	210.29	224.33	264.81	99.6	275.07
Carbonatos	mg/l	NC	0	0	0	0	0
Cianuro (CN ⁻)	mg/l	0.07	NA	NA	NA	NA	NA
Cloruros (Cl ⁻)	mg/l	250	50.5	40.61	63.12	6.46	30.46
Color	Pt-Co	20	0	0	0	0	0
Conductividad eléctrica	µmhos/cm	NC	662	637	785	236	596
Dureza total (CaCO ₃)	mg/l	500	144	109.8	208.8	100.8	191.15
Fluoruros (F ⁻)	mg/l	1.5	0.87	1.4	0.79	0.33	0.49
Nitratos	mg/l	10	1.99	1.8	1.06	0.17	1.76

PARÁMETROS	UNIDAD	LÍMITE PERMISIBLE	NORTE BAJA	NORTE ALTA	CENTRO	SUR ALTA	ZONA SUR BAJA
Nitritos	mg/l	0.05	ND	ND	ND	ND	ND
pH	unidad de pH	6.5-8.5	7.97	7.64	7.7	7.62	7.65
Sólidos disueltos totales	mg/l	1000	332	322	394	119	294
Sulfatos (SO ₄ ⁻)	mg/l	400	107.85	81.75	135.98	23.67	51.21
Temperatura	°C	NC	28	33	27	20	25
Turbiedad	UTN	5 UTN	0.12	0.18	0.21	0.44	0.27
Aluminio	mg/l	0.2	NA	< LC	NA	NA	< LC
Arsénico	mg/l	0.025	NA	0.022	NA	NA	0.008
Bario	mg/l	0.7	NA	< LC	NA	NA	< LC
Cadmio	mg/l	0.005	NA	< LC	NA	NA	< LC
Calcio	mg/l	NC	30.24	31.68	53.28	27.4	45.55
Cobre	mg/l	2	NA	< LC	NA	NA	< LC
Cromo total	mg/l	0.5	NA	< LC	NA	NA	< LC
Hierro	mg/l	0.3	NA	< LC	NA	NA	0.092
Magnesio	mg/l	NC	16.42	7.34	17.14	7.78	18.55
Manganeso	mg/l	0.15	NA	< LC	NA	NA	< LC
Mercurio	mg/l	0.001	NA	< LC	NA	NA	< LC
Plomo	mg/l	0.01	NA	< LC	NA	NA	< LC
Sodio	mg/l	200	97.44	103	NA	11.7	80
Zinc	mg/l	5	NA	< LC	NA	NA	< LC

LC, límite de cuantificación; NA, no analizado; NC, no contemplado en la NOM-179-SSA1-1998; ND, no detectado. Fuente: Ayuntamiento de Hermosillo (2015)¹⁰.

En pozos de La Victoria, La Resolana y El Alamito, las concentraciones de F (1.8 - 3.6 mg/l) y arsénico (0.056 - 0.084 mg/l), sobrepasaron los límites máximos permisibles que establece la NOM-127-SSA1-1994 (Secretaría de Salud, 2000).

Los estudios de Vega-Granillo y compañeros (2011), indican que los acuíferos aledaños a la ciudad de Hermosillo (Mesa del Seri-La Victoria),

¹⁰ Ayuntamiento de Hermosillo (2015). Resultados de monitoreo de la calidad del agua suministrada a la población de 2010 a la fecha en el municipio. Agua de Hermosillo. Contraloría Interna.

han tenido manifestaciones termales, así como la presencia de F y arsénico. En los pozos de más de 150 m de profundidad, al norte y este del rancho La Colmena, la temperatura del agua alcanzó hasta 42 °C.

Por su parte, Ojeda e investigadores (2016) estudiaron el consumo de agua en los hogares, en la zona urbana de la ciudad de Hermosillo. Con la finalidad de determinar la presencia de F y arsénico en el agua de consumo humano que llega en forma directa al grifo de las viviendas (toma domiciliaria), se analizó la calidad del agua en una muestra de diez casas distribuidas en la ciudad (figura 4.1). Adicionalmente, se aplicaron encuestas en las viviendas, para conocer la percepción de los usuarios sobre el uso y manejo del agua.

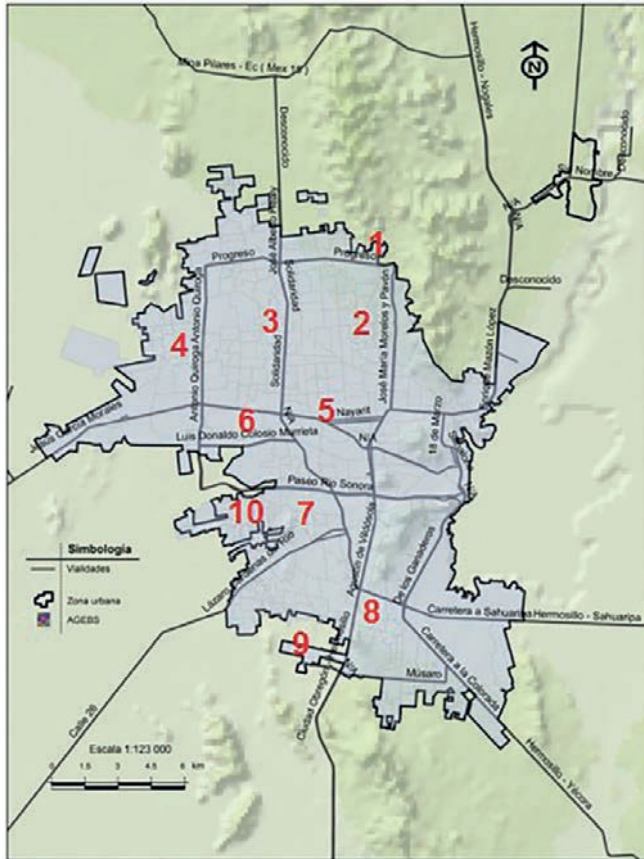


Figura 4.1. Ubicación de las viviendas bajo estudio en la ciudad de Hermosillo, Sonora
Fuente: Ojeda et al. (2016).

En la tabla 4.3 se muestran los valores de las propiedades fisicoquímicas del agua obtenidos por Ojeda y colaboradores (2016). Los autores señalan que, al comparar esos resultados con los límites permisibles establecidos en la NOM-127-SSA1-1994 (Secretaría de Salud, 2000), todos los parámetros se encuentran en rangos aceptables, salvo la temperatura. Al respecto, los autores mencionan que la temperatura del agua de la vivienda número siete, registró un valor anormal de 35°C; las viviendas uno, cinco y ocho tuvieron valores altos de 30°C; mientras que los demás domicilios presentaron valores aceptables.

Tabla 4.3

Propiedades fisicoquímicas del agua en viviendas bajo estudio de la ciudad de Hermosillo

PARÁMETRO/ NÚMERO DE VIVIENDA	NÚMERO DE VIVIENDA EN LA TOMA DE MUESTRA DE AGUA									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
T (°C)	30	21	22	24	30	29	35	30	28	27
pH	7.43	7.77	7.12	7.75	7.22	7.31	7.88	7.39	7.38	7.48
Conductividad eléctrica	994.6	244.6	257	628	1213	799	703	905	839	987
Cloro residual	0.3	1.5	1.5	1.0	ND	0.3	0.5	0.3	0.3	< 0.3

Fuente: Ojeda et al. (2016).

Con base en los antecedentes de la presencia de F y arsénico en agua corriente en otros puntos, se analizaron dos muestras de agua al norte y sur de la ciudad, en las viviendas uno y diez (tabla 4.4), en las cuales también se evaluó el cloro residual. Los resultados indicaron que, en ambas viviendas, dicho elemento excedió los límites máximos permisibles de la NOM-127-SSA1-1994 (Secretaría de Salud, 2000); en los casos de arsénico y fluoruros, solo la vivienda uno.

Tabla 4.4

Elementos presentes en el agua en viviendas bajo estudio en la ciudad de Hermosillo

ELEMENTOS (mg/L)	VIVIENDA 1	VIVIENDA 10	NOM-127-SSA1-1994
Cloro residual	2.3	2.8	0.2 a 1.5
Fluoruros	1.8	menor a LC	1.5
Arsénico	0.028	0.005	0.025

LC, límite de cuantificación

Fuente: Ojeda et al. (2016).

Respecto de los resultados obtenidos del análisis estadístico derivado del muestreo probabilístico en las viviendas de Hermosillo sobre el uso y manejo del agua en los hogares, se encontró que 78% de la población encuestada utiliza agua purificada para beber (agua de garrafón). Lo anterior, porque consideran que el agua de la llave no es confiable (figura 4.2).

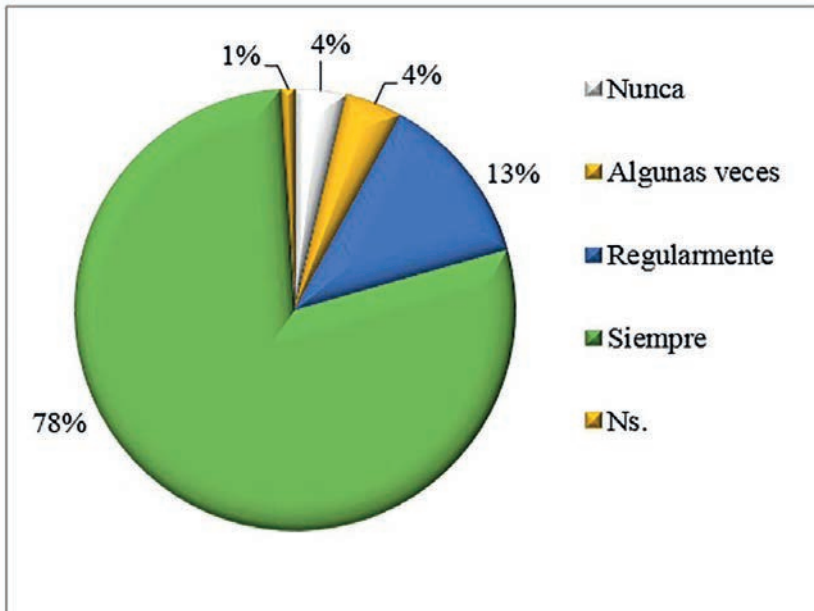


Figura 4.2. Población encuestada que utiliza agua purificada en la ciudad de Hermosillo
Fuente: Ojeda et al. (2016).

Mientras que 71% de los habitantes desconfía de la calidad del agua potable de la red de distribución del suministro urbano (figura 4.3).

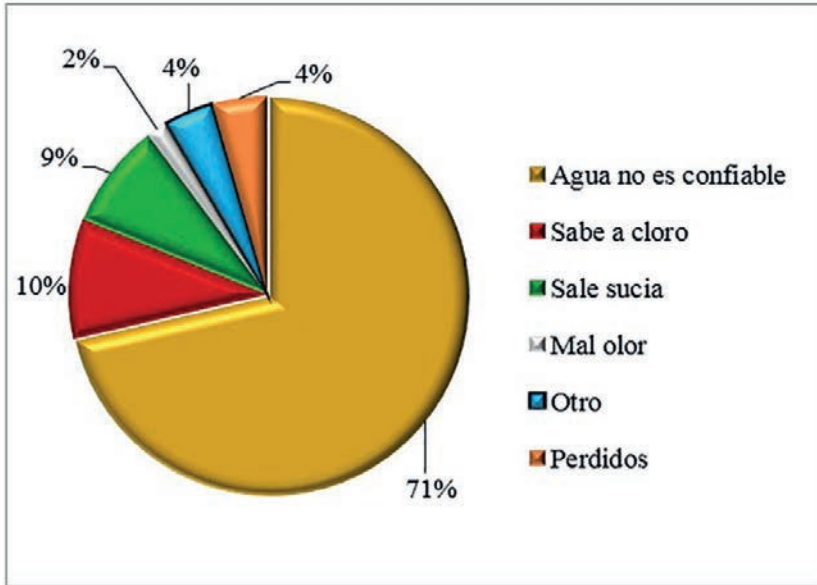


Figura 4.3. Motivos por los que no se utiliza el agua potable de la red como agua purificada en la ciudad de Hermosillo, Sonora
Fuente: Ojeda et al. (2016).

En general, la población utiliza agua de garrafón para beber y preparar sus alimentos; 99% de los hogares que utilizan este tipo de agua tienen un consumo que asciende hasta cuatro garrafones de 19 litros a la semana (figura 4.4).

Las investigaciones de Grijalva-Haro y colaboradores (2001), sobre la salud de un grupo de niños de ocho y nueve años de edad en relación con la ingesta de fluoruros en las colonias Bugambilias, Cuauhtémoc y Balderrama, de la ciudad de Hermosillo, demostraron que la cantidad de ese parámetro en el agua de consumo fue de 2.77, 0.78 y 0.54 mg/l, respectivamente. La ingestión media para la colonia Bugambilias fue de 5.41 mg/día; para la otras dos, de 2.31 y 1.51 mg/día. Del grupo de niños bajo estudio, 32% mostró valores de ingesta equivalentes a dos veces más los estándares diarios recomendables para este grupo de edad. De estos, 60% correspondió a la colonia Bugambilias. El consumo de agua representó

63% de la ingestión total de fluoruros, mientras que la ingestión media de agua fue 1.8 l/día.

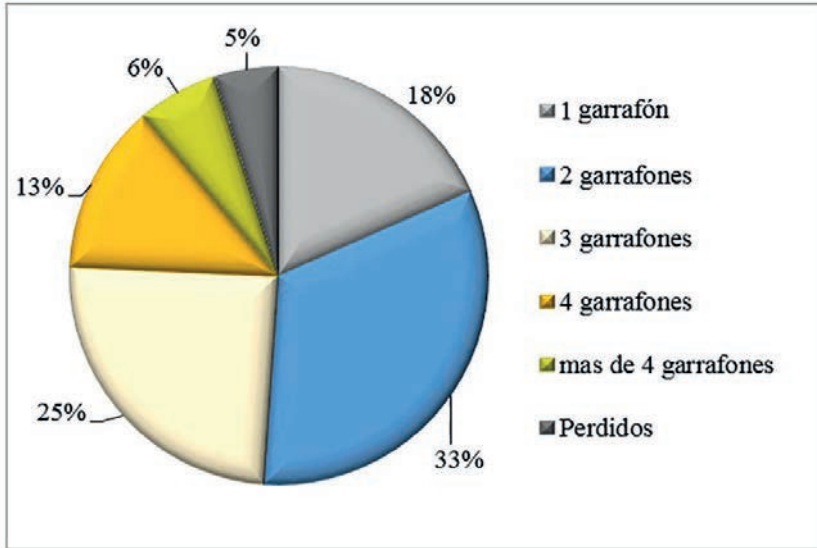


Figura 4.4. Consumo de garrafones de agua en las viviendas de la ciudad de Hermosillo, Sonora

Fuente: Ojeda et al. (2016).

Por otra parte, Vásquez del Castillo y compañeros (2013) encontraron que la concentración media de arsénico total en el agua potable en las comunidades Ampliación Los Olivos (parte sur) y Bachoco (norte) de la ciudad de Hermosillo, fue de 8.8 mg/l y de 26.4 mg/l. Aunque estos valores no rebasaron los límites establecidos por la EPA (EPA, 2006) y por la NOM (Modificación a la NOM-127-SSA-1-2000), los investigadores recomiendan interpretar estos resultados con precaución, por consiguiente, concluyen que se necesita realizar una investigación más amplia para interpretar las consecuencias sanitarias debidas a la exposición al arsénico en el agua potable de Hermosillo, Sonora.

4.2.2.1. Efectos del arsénico en la salud humana

Con base en la declaración de la Agencia de Registro de Sustancias Tóxicas y Enfermedad de los Estados Unidos de Norteamérica (ATSDR, por sus siglas en inglés), el arsénico es el primer elemento de la lista de

compuestos tóxicos prioritarios (ATSDR, 2017). La exposición humana a niveles elevados de arsénico inorgánico se produce, principalmente, por la ingesta de agua y de alimentos preparados con agua subterránea, la cual contiene de forma natural concentraciones altas de ese elemento. Cabe mencionar, que los cultivos regados con aguas subterráneas, también tienen el riesgo de almacenar importantes cantidades de arsénico (OMS, 2017a).

Así, la ingesta de arsénico inorgánico durante un período prolongado puede conducir a una intoxicación crónica (hidroarsenicismo), cuyos efectos pueden tardar años en manifestarse, según haya sido el grado de exposición: lesiones en la piel, neuropatía periférica, diabetes, enfermedades cardiovasculares y cáncer (Kuo et al., 2017). La Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 establece un valor máximo permisible de este elemento de 0.025 mg/l (CONAGUA, 2007).

4.2.2.2. Efectos del fluoruro en la salud humana

Es común encontrar F en yacimientos subterráneos sobreexplotados, o “cuando las condiciones de mineralización del yacimiento donde se encuentra el acuífero favorecen la presencia de F en el agua, por lixiviación de minerales que contienen este anión” (Durán et al., 2017).

Si bien el consumo de F en pequeñas dosis es beneficioso para el fortalecimiento de los dientes, al formar una capa protectora de fluoruro de calcio, más resistente a la caries dental. Sin embargo, cuando se presentan altas dosis de este compuesto, también se fija en los huesos, donde se deposita como precipitado. Estos depósitos provocan el endurecimiento de esos tejidos, los cuales sufren deformaciones. En consecuencia, se genera la osteoporosis o endurecimiento y deformación del sistema óseo (OMS, 2006b) y la calcificación de los tendones y ligamentos (OMS, 2017b). Asimismo, en concentraciones superiores a 4 mg/l provoca fluorosis dental (oscurecimiento del esmalte) y esquelética; el consumo de 8 a 20 mg/l de fluoruro durante un período largo, afecta al sistema óseo (CONAGUA, 2007). Estudios más recientes encontraron una asociación positiva entre el consumo de agua con altas concentraciones de F y el riesgo de aborto espontáneo en mujeres (Moghaddam et al., 2018).

En Sonora, el contenido de F en el agua de consumo de fuentes naturales difiere grandemente en un rango de 0.2 a 7.82 mg/l (Grijalva et al., 1998; Díaz-Barriga et al., 1997). Gallagan y Vermillion (1957) han reco-

mendado para temperaturas entre 32 y 37.5 °C, la concentración óptima de F en el agua de 0.6 mg/l (NRC, 1993), sin embargo, en Hermosillo se pueden alcanzar temperaturas máximas superiores a los 40°C en los meses de junio a septiembre.

4.2.2.3. Efectos del cloro residual en la salud humana

Desinfectar el agua de consumo humano con cloro (Cl) ha sido beneficioso para mitigar el surgimiento de enfermedades diarreicas y cólera, por ende, su uso se ha globalizado. En las plantas de tratamiento, el agua contiene agentes reductores (compuestos orgánicos e inorgánicos como nitritos, iones de hierro, plomo y sulfuros), microorganismos y bacterias. El cloro se aplica en exceso para que oxide esos compuestos y elimine las bacterias. Debe quedar cierta cantidad de cloro libre (residual) en el agua, después de que esta se ha desinfectado, para que continúe su acción desinfectante en el agua incluso hasta que llega al consumidor. Dicho cloro residual debe permanecer en cantidades seguras para el consumo humano, ya que puede ser tóxico (Sánchez, 2008).

La OMS (1991) recomienda en sus Guías de calidad que, para obtener la garantía sanitaria del agua para consumo humano, se debe contener un promedio de 0.3 mg/l de cloro residual activo y una turbiedad menor de 1 UNT (Unidad Nefelométrica de Turbiedad). Por lo general, la población rechaza el consumo de agua con niveles de Cl de 25 ppm (0.7 mg/kg/día). Aunque la existencia de riesgo en el consumo de agua clorada radica en la toxicidad indirecta de sus subproductos, los cuales se generan durante la cloración del agua, debido a la reacción del cloro con la materia orgánica presente: los ácidos húmicos y fúlvicos que se encuentran en el agua de ciertos lugares, son producto de la degradación de materia vegetal y le confieren color al agua; mientras que otros compuestos se generan en la degradación de materia animal. Las sustancias generadas a partir de las descomposiciones de materia orgánica son compuestos activos que, al reaccionar con el cloro, producen compuestos orgánicos clorados. Así, en las aguas contaminadas con efluentes municipales, se forman subproductos como clorofenoles, ácido cloro acético, ácido dicloro acético, ácido tricloro acético, cloruro de cianógeno, cloropicrin, tricloro acetaldehído monohidratada, 1-1-dicloropropanona, dicloroacetanitrilo, dibromoacetanitrilo, tricloroacetanitrilo, bromato (sal sódica) y trihalometanos (THMs), estos últimos son cancerígenos para el ser humano (OMS, 2018).

Entre los THM más frecuentes, están el cloroformo, el bromodichloroetano, “el dibromoclorometano y el bromoformo. La concentración de los THM depende de la presencia de los precursores (compuestos activos que pueden reaccionar con el cloro), la dosis de cloro y tiempo de contacto, la temperatura y del pH del agua. En estudios efectuados en animales, se ha descubierto que el cloroformo en altas dosis es cancerígeno y que los otros THM (pruebas en bacterias) son mutagénicos” (Castro de Esparza, 1992). Por su parte, los clorofenoles, producen un daño significativo en los riñones y cambios histológicos. En relación a los halocompuestos (compuestos orgánicos clorados), los efectos en la salud son diferentes para cada producto.

4.2.2.4. Agentes microbiológicos que afectan la calidad del agua

Cryptosporidium parvum es un parásito que ocasiona problemas de salud a nivel mundial, ya que causa parasitosis intestinal en el hombre. “Esta enfermedad puede ser adquirida por todos los grupos de edad y en todos los niveles socioeconómicos, aunque la población más susceptible de contraerla es la de mayor marginación socioeconómica, particularmente en el rango de 0 a 14 años de edad, debido a inmadurez inmunológica y condiciones de higiene poco saludables” (OMS-UNICEF, 2004). Los factores de riesgo, a pesar de todo, se acrecientan con las deficiencias o carencias de los servicios públicos básicos.

En este contexto, el agua es un importante medio de transmisión debido a su dispersión y elevada resistencia que poseen los ooquistes a los tratamientos comunes de potabilización, ya que se requiere como mínimo una concentración >80 mg/l de cloro libre para su destrucción (Korich et al., 1990). Esta condición supera “400 veces la concentración máxima permitida en agua para consumo humano (0.2 a 1.5 mg/l)” (Díaz-Cinco et al., 2003).

Al salir de la planta potabilizadora, el agua se puede contaminar antes de llegar al usuario a causa de fallas o deterioro del sistema de tuberías. “En México, 2.3 % de los niños mayores de tres años sufren criptosporidiosis” (Casemore, 1990). Según estudios de Gómez y colaboradores (1996), de cada 100 niños con diarrea en el estado de Sonora, 23.2% presentó *C. parvum*, mientras que 37% de las muestras de agua potable tomadas en Hermosillo Sonora, registró ooquistes, es decir, la población está frente a un riesgo patente (Díaz et al., 1999).

De acuerdo con la Comisión Nacional del Agua (CNA, 2011), proveer y sanear el agua son acciones decisivas para la salud de la población, en especial la infantil, tan es así que estas prácticas son decisivas para reducir la mortalidad y morbilidad entre la población menor de cinco años, así como en la menor incidencia de enfermedades transmitidas a través del agua, v.gr., la hepatitis viral, fiebre tifoidea, cólera, disentería y demás enfermedades diarreicas, además de aquellas que son resultado del consumo de agua contaminada con químicos tóxicos, entre ellos arsénico, F o nitratos.

4.3. Conclusiones

Con base en las investigaciones anteriormente expuestas, se observa que existen tres parámetros en el agua de consumo humano que son de especial atención debido a su toxicidad y presencia en altas concentraciones en la ciudad de Hermosillo: el arsénico, el F y el cloro residual en la parte norte de la ciudad. Adicionalmente, la temperatura oscila entre 28 y 30°C en algunos sectores de la entidad, alcanzando valores de 35°C.

La presencia de agentes microbiológicos, aunada a los factores anteriores, puede afectar significativamente la salud de los pobladores. Si bien 78% de la población bajo estudio manifestó utilizar agua purificada para beber y preparar alimentos, ciertos sectores de la ciudad de Hermosillo pueden presentar mayor riesgo de adquirir enfermedades relacionadas con el consumo del agua, ya que su bajo poder adquisitivo dificulta la compra de garrafones de agua.

La reciente operación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) contribuirá de manera significativa a mejorar la salud ambiental de la ciudad. Esto debe verse reflejado en la reducción de la exposición a una fuente importante de contaminación, a la vez que minimiza el consumo del agua potencialmente destinada a consumo humano que es utilizada para el riego de áreas verdes. El H. Ayuntamiento de Hermosillo impulsa el desarrollo de un Eco-Parque sobre el humedal denominado “Los Jagüeyes”, sobre el lecho del río Sonora, cuyo sistema lagunar estará alimentado con las aportaciones de las aguas tratadas provenientes de la PTAR¹¹.

¹¹ Ayuntamiento de Hermosillo. 2018. Agua de Hermosillo. Disponible en: <http://www.aguadehermosillo.gob.mx>

4.4. Bibliografía

- Aguilar-Benítez, I., & Monforte, G. (2018). Servicios públicos del agua, valor público y sostenibilidad. El caso del área metropolitana de Monterrey. *Gestión y Política Pública*, 27(1), 149-79.
- ATSDR. (2017). *Lista de sustancias prioritarias*. US Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Recuperado de <https://www.atsdr.cdc.gov/spl/>
- Casemore, D. (1990). Epidemiological aspects of human cryptosporidiosis. *Epidemiol. Infect.*, 104, 1-28.
- CNA. (2011). Estadísticas del Agua en México. Salud, Agua y Ambiente. Comisión Nacional del Agua. México, D. F. pp. 102-106.
- Castro de Esparza, M. L. (Marzo-Junio 1992). *Uso de cloro para la desinfección de agua para consumo: efectos en la salud humana*. Recuperado de <http://www.cepis.ops-oms.org/eswww/proyecto/repidisc/publica/hdt/hdt049.html>
- CONAGUA. (2007). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento*. Comisión Nacional del Agua. Recuperado de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/Libros/11DisenoDePlantasPotabilizadorasTipoDeTecnologiaSimplificada.pdf>
- De la Parra-Rentería, C. (2017). *Diagnóstico socioambiental para el Programa del Manejo Integral del Agua de la Cuenca del Río Tijuana*. Baja California: Colegio de la Frontera Norte. Recuperado de <https://www.cuencariotijuana.org/wp-content/uploads/2017/03/DiagnosticoCRT.pdf>
- Díaz, M., Aguilar, J., Gómez, C., Torres, F., & Mata, V. (1999). Relación entre la incidencia de *Cryptosporidium parvum* en agua y niños con diarrea. Memorias de la VI Reunión Sobre Investigación en Salud del Estado de Sonora (pp. 131-3).
- Díaz-Barriga, F., Navarro-Quezada, A., Grijalva, M. I., Grimaldo, M., Loyola-Rodríguez, J. P., & Ortiz, M. D. (1997). Endemic fluorosis in Mexico. *Fluoride*, 30(4), 233-239.
- Díaz-Cinco, M. E., Leyva-Michel, E. E., Mata-Haro, V., González-Ríos, Y. H. (2003). Incidencia y viabilidad de *Cryptosporidium parvum* en el agua potable de Ciudad Obregón, Sonora, México. *Rev. Int. Contam. Ambient.*, 19(2), 67-72.

- Durán, R., Durán, E., Ojeda, G. J., & Castellanos, W. A. (2017). Distribución geográfica de Fluoruros en el agua de red de abastecimiento público en la provincia de Tucumán, Argentina. *Salud Colectiva*, 13(1), 105-122.
- EPA. (2006). *Arsenic-Safe Water*. US Environmental Protection Agency. Recuperado de <http://www.epa.gov/safewater/arsenic/index.html>
- Gallagan, D. J., & Vermillion, J. R. (1957). Determining optimum fluoride concentration. *Public Health Rep*, 72(6), 491-493.
- Gómez, C. E., Torres, F. R., & Díaz, M. E. (1996). Utilización de anticuerpos monoclonales en la detección de quistes de *Cryptosporidium parvum* y *Giardia lamblia* en heces diarreicas de niños de 0 a 5 años en Hermosillo, Sonora. *Boletín CIAD* 76.
- Grijalva, M. I., Valenzuela, A. I., Silveira, M. I., & Benítez, M. A. (1998). La concentración de fluoruros en el agua y su efecto en la salud dental en el estado de Sonora. *Estudios Sociales*, 3(15), 111-134.
- Grijalva-Haro, M., Barba-Leyva, M., & Laborín-Álvarez, A. (2001). Ingestión y excreción de fluoruros en niños de Hermosillo, Sonora, México. *Salud Pública de México*, 43(2), 127-134.
- Guerra, C. (1993). Ponderación de los Riesgos de origen Microbiano y Químico en la Desinfección del Agua Potable: La Perspectiva Panamericana. *Boletín de Oficina Sanitaria Panamericana*, 115, 451-454.
- Korich, D. G., Mead, J. R., Madore, M. S., Sinclair, N. A., & Sterling, C. R. (1990). Effects of ozone, chlorine dioxide, chlorine, and monochloramine on *Cryptosporidium* viability. *Appl. Environ. Microbiol.*, 56, 1423-1428.
- Kuo, C. C., Moon, K. A., Wang, S. L., Silbergeld, E., Navas-Acien, A. (2017). The association of arsenic metabolism with cancer, cardiovascular disease, and diabetes: A systematic review of the epidemiological evidence. *Environmental Health Perspectives*, 125, 08700-1/08700-15.
- López-Ibarra, J. (2005). Análisis de la sequía en la cuenca del río Sonora. Ponencia en Foro *Agua Hoy: agua de una vez por todas, Hermosillo*.
- Moghaddam, V. K., Yousefi, M., Khosravi, A., Yaseri, M., Mahvi, A. H., Hadei, M., Mohammadi, A. A., Robati, Z., & Mokammel, A. (2018). High concentrations of fluoride can be increased risk of abortion. En *Biological Trace Element Research*. <https://doi.org/10.1007/s12011-018-1250-0>

- Monreal, R., Rangel, M., Castillo, J. M., & Morales, M. (2002). *Estudio de la cuantificación de la recarga del acuífero de la Costa de Hermosillo, municipio de Hermosillo, Sonora, México*. Hermosillo: Universidad de Sonora.
- NRC. (1993). *Health effects of ingested fluoride*. Subcommittee on Health Effects of Ingested Fluoride. National Research Council . Washington. D. C.: National Academy Press.
- Ojeda, A. (2013). *Análisis socio espacial del consumo de agua doméstica en Hermosillo, Sonora* (Tesis para obtener el grado de Doctor en Asuntos Urbanos). Monterrey: Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Ojeda, A., Quintana, J., Álvarez-Chávez, C. R., & García, F. (2016). *Factores que influyen en el consumo de agua residencial urbana en Hermosillo, Sonora*. Reporte técnico de Investigación para el Programa PRODEP, de la Secretaría de Educación Pública, México.
- Olavarrieta, M. (2010). *Modelo de Gestión para la administración del acuífero de la costa de Hermosillo, Sonora, México* (Tesis de doctorado en Ingeniería). México: Universidad Autónoma de Baja California. Instituto de Ingeniería.
- OMS. (1991). *Chlorine*. Ginebra: Organización Mundial de la Salud [WHO document draft].
- ____ (2006a). *Guías para la calidad del agua potable*. Primer apéndice a la tercera edición. Volumen 1. Recomendaciones. Recuperado de http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3rev/es/
- ____ (2006b). *Monitoring and Assessment of Chemical Quality. Guidelines for Drinking Water Quality*. Organización Mundial de la Salud. Training Pack (Esp).
- ____ (2017a). *Arsénico*. Organización Mundial de la Salud. Recuperado de http://www.who.int/ipcs/assessment/public_health/arsenic/es/
- ____ (2017b). *Exceso o cantidad inadecuada de Flúor*. Organización Mundial de la Salud. Recuperado de http://www.who.int/ipcs/assessment/public_health/fluoride/es/
- ____ (2017c). *Notas descriptivas. Datos y Cifras*. Organización Mundial de la Salud. Recuperado de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs391/es/>
- ____ (2018). *Guías para la calidad del agua de consumo humano* (4.^a ed.) [Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating first ad-

- dendum]. Ginebra: Organización Mundial de la Salud. Recuperado de http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/gdwq4-with-add1-chapters/es/
- OMS-UNICEF. (2004). *Declaración conjunta sobre la prevención y control de la esquistosomiasis y las helmintiasis transmitidas por el suelo*. Reporte Final. Organización Mundial de la Salud-United Nations International Children's Emergency Fund.
- ONU-DAES. (2015). *Decenio internacional para la acción "El agua fuente de vida" 2005-2015*. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas. Recuperado de https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human_right_to_water.shtml
- Peters, E., Campoy, J., & Flessa, K. (2009). *Ciénega de Santa Clara. Comprehensive Monitoring Program*. México: Publicación especial del Instituto Nacional de Ecología.
- Pineda, N. (2007). Construcciones y demoliciones. Participación social y deliberación pública en los proyectos del acueducto de El Novillo y de la planta desaladora de Hermosillo, 1994–2001. *Región y Sociedad*, 19, 89-115.
- Pineda, N., Moreno, J. L., Salazar, A., & Lutz, A. (2014). Derechos de agua y gestión por cuencas en México: El caso del río Sonora. *Espiral* (Guadalajara), 21(61), 191-225. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-05652014000300007&lng=es&tlng=es
- Sabogal, L. (2000). *El riesgo sanitario y la eficiencia de los sistemas de tratamiento en la selección de tecnologías para la potabilización del agua*. Cali: Universidad del Valle.
- Sánchez, A. (2008). Efectos de los trihalometanos sobre la salud. *Higiene y Sanidad Ambiental*, 8, 280-290.
- Secretaría de Salud. (2000). NOM-127-SSA1-1994. Recuperado de <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/127ssa14.html#:~:text=NORMA%20OFICIAL%20MEXICANA%20NOM%2D127,EL%20AGUA%20PARA%20SU%20POTABILIZACION%22>
- SEMARNAT-CONAGUA (2015). *Ley Federal de Derechos. Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Comisión Nacional del Agua.

- Thompson, T., Fawell, J., & Kunikane, S. (2007). *Chemical safety of drinking-water: Assessing priorities for risk management*. Geneva: WHO.
- Torres, P., Cruz, C. H., & Patiño, P. J. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(15), 79-94.
- UNDP, UNEP, WB, WRI. (2000). *World Resources 2000-2001*. USA: World Resources Institute.
- Valenzuela-Vásquez, L., Hernández, J., Reyes, L., Uribe, A., & Mancilla, O. (2006). The origin of fluoride in groundwater supply to Hermosillo city, Sonora, México. *Environment Geol.*, 51, 17-27.
- Vásquez del Castillo, D., Burboa-Zazueta, M. G., Valdés-Covarrubias, M. A., Roberge, J., Harris, R., & Gutiérrez-Millán, L. E. (2013). Ingesta de arsénico de agua potable en la población de Hermosillo, Sonora. *Biotecnia*, 15(1), 39-44.
- Vega-Granillo, E., Cirett-Galan, S, De la Parra-Velasco, M., & Zavala-Juárez, R. (2011). Hidrogeología de Sonora, México. En Calmus, Thierry (Ed.), *Panorama de la Geología de Sonora, México*: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología. *Boletín*, 118, cap. 8, p. 267-298.

Calidad del aire y salud en el centro de población de Hermosillo

*Héctor Duarte Tagles
Santa A. Nápoles Trujillo*

Una buena calidad del aire es indispensable para la vida y la salud, sin embargo, la presencia de sustancias químicas, agentes físicos y microorganismos en cantidades que perjudican o afectan el bienestar humano, la flora y la fauna, contaminan el aire. La contaminación del aire es un factor que contribuye a la mala salud de la población. Según reportes de la OMS, la contaminación del aire es responsable de alrededor de dos millones de muertes prematuras al año en todo el mundo y cerca de 8% del total anual (Tonne, 2017).

La Tierra está rodeada por aire, a saber, una mezcla de gases en una capa llamada atmósfera. En su mayor parte, el aire (95%) se “encuentra dentro de los primeros 20 km sobre el nivel del mar, por encima de los cuales disminuye en densidad hasta desvanecerse de manera gradual en el vacío del espacio. La parte más baja de dicha capa se llama tropósfera, la cual tiene aproximadamente 8 km de espesor en los polos de la Tierra y cerca del doble en el ecuador” (Strauss, & Mainwaring, 1990).

La contaminación atmosférica no es un fenómeno nuevo. Ya en la Edad Media, en 1307, se tenían registros de “humo procedente de la quema de carbón” al grado de que el rey Eduardo de Inglaterra, prohibió el uso de los hornos de cal. Para 1952, después de un episodio intenso

de polución, Londres registró un aproximado de 4,000 decesos a causa de la contaminación del aire (Masters, & Ela, 2008). Los efectos nocivos de estas situaciones en la salud son diversos, pero afectan en especial a los sistemas respiratorio y cardiovascular; asimismo, la susceptibilidad es diversa, según sea el estado de salud o la edad: niños menores de 5 años o adultos mayores de 65 (Bell, & Samet, 2010).

La contaminación atmosférica tiene una relación directa con daños a la salud que repercuten a su vez en el ámbito laboral, médico-económico y familiar, en concreto, tiene grandes costos económicos. Según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), dichos costos fueron “del orden de 577 mil 698 millones de pesos”, es decir, “3.2% del Producto Interno Bruto (PIB)”. Con mayor frecuencia, la polución del aire influye directamente sobre “la mortalidad y la hospitalización de pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), exacerbación de los síntomas y aumento de la necesidad de terapia en asmáticos, mortalidad y hospitalización de pacientes con enfermedades cardiovasculares y diabetes mellitus, aumento del riesgo de infarto al miocardio, inflamación de las vías respiratorias, inflamación sistémica, disfunción endotelial y vascular, desarrollo de aterosclerosis, aumento en la incidencia de infecciones y cáncer de pulmón” (SEMARNAT, 2017).

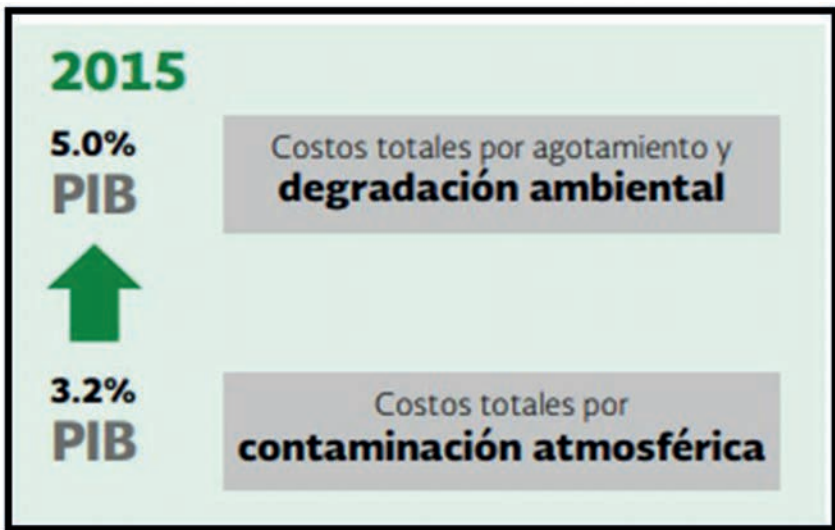


Figura 5.1. Afectaciones económicas de la contaminación atmosférica
Fuente: Tomado de SEMARNAT (2017).

5.1. ¿Cómo saber si el aire que respiramos está contaminado?

Las partículas suspendidas en el aire indican en gran medida el grado de contaminación de este último. Dicho material particulado (PM, por sus siglas en inglés) está compuesto principalmente por “los sulfatos, los nitratos, el amoníaco, el cloruro de sodio, el hollín, los polvos minerales y el agua”. Todos ellos conforman una mezcla de “partículas sólidas y líquidas de sustancias orgánicas e inorgánicas”. De las PM o comúnmente llamadas “polvo o smog”, se consideran que tienen repercusiones en la salud las que por sus dimensiones pueden ser fácilmente aspiradas por el organismo al momento de respirar: aquellas con un “diámetro de 10 micrones o menos (\leq PM10)” pueden alojarse con facilidad en los pulmones, empero, las que poseen un “diámetro de 2.5 micrones o menos (\leq PM2.5)” resultan mayormente dañinas. “Las PM2.5 pueden atravesar la barrera pulmonar y entrar en el sistema sanguíneo. La exposición crónica a estas partículas contribuye al riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares y respiratorias, así como cáncer de pulmón” (OMS, 2006).

En el aire también se encuentra material biológico de diferente origen, el cual puede estar asociado con enfermedades respiratorias (neumonía, tosferina, tuberculosis pulmonar, etc.), enfermedades sistémicas (meningitis, sarampión, varicela, etc.) y alergias (rinitis alérgica, asma, etc.) (Santos-Romo et al., 2014). De estas últimas, se han identificado esporas de hongos con alto nivel alergénico de los géneros *Alternaria* y *Cladosporium*, muy abundantes en ambientes secos (Ortega-Rosas et al., 2015).

Los organismos encargados de normar pueden valerse de estimaciones de polución del aire por partículas para hacer lineamientos enfocados a preservar la salud de la población. Por lo general, la calidad del aire se determina por los resultados que muestran los equipos de monitoreo de las “mediciones de concentraciones medias diarias o anuales de partículas PM10 por metro cúbico (m^3) de aire”. Dichas mediciones se expresan en microgramos $\mu g/m^3$. Aunque si las herramientas para estimar este tipo de contaminación lo permiten, se pueden determinar “las concentraciones de partículas finas (PM2.5 o más pequeñas)”. Se ha encontrado que estar expuesto a “altas concentraciones de pequeñas partículas (PM10 y PM2.5)” aumenta la “mortalidad o morbilidad diaria y a largo plazo”, y viceversa, si las condiciones en general no sufren cambios (Landrigan, 2017).

5.2. Marco legal en materia de calidad del aire

Existen diferentes criterios para establecer una buena calidad del aire, según las relaciones cuantitativas de un componente atmosférico y la posibilidad de ocurrencia de efectos indeseables en la salud y seguridad humana, en otros seres vivos o incluso en bienes materiales. Sobre estos criterios se emiten recomendaciones, leyes y reglamentos, aunque las autoridades responsables de garantizar una buena calidad del aire, regularmente toman en cuenta los límites máximos permisibles de contaminantes establecidos en las normas mexicanas.

Para Garza y Rodríguez-Millord (1997), una norma es en términos generales, “una especificación u otro documento de uso público, que se establece con el consenso o la aprobación de todas las partes involucradas y afectadas, fundamentado en la consolidación de los resultados de la ciencia, la tecnología y la experiencia, que pretende la promoción de beneficios óptimos comunes y que es aprobada por un grupo de expertos reconocidos en los niveles nacional, regional o internacional”.

5.2.1. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)

Título Cuarto (Protección al Ambiente), Capítulo II: Prevención y control de la contaminación de la atmósfera. Artículos 110, 111, 111 Bis, 112-116.

5.2.2. Ley del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado de Sonora (LEEPAES)

Título Quinto (Protección al Ambiente), Capítulo I: Prevención y control de la contaminación de la atmósfera. Artículos 110 al 126.

5.2.3. Normas Oficiales Mexicanas

Las normas oficiales mexicanas que regulan el tema de los límites máximos permisibles de contaminantes en el aire en todo el territorio nacional son las siguientes:

- NOM-020-SSA1-2014. Salud ambiental. Valor límite permisible para la concentración de ozono (O₃) en el aire ambiente y criterios para su evaluación.

- NOM-021-SSA1-1993. Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al monóxido de carbono (CO). Valor permisible para la concentración de monóxido de carbono (CO) en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población.
- NOM-022-SSA1-2010. Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al dióxido de azufre (SO₂). Valor normado para la concentración de dióxido de azufre (SO₂) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.
- NOM-023-SSA1-1993. Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al bióxido de nitrógeno (NO₂). Valor normado para la concentración de bióxido de nitrógeno (NO₂) en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población.
- NOM-025-SSA1-2014. Salud ambiental. Valores límite permisibles para la concentración de partículas suspendidas PM₁₀ y PM_{2.5} en el aire ambiente y criterios para su evaluación.
- NOM-026-SSA1-1993. Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al plomo (Pb). Valor normado para la concentración de plomo (Pb) en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población.
- NOM-034-SEMARNAT-1993. Que establece los métodos de medición para determinar la concentración de monóxido de carbono (CO) en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición.
- NOM-036-SEMARNAT-1993. Que establece los métodos de medición para determinar la concentración de ozono en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición.
- NOM-037-SEMARNAT-1993. Que establece los métodos de medición para determinar la concentración de bióxido de nitrógeno en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición.
- NOM-038-SEMARNAT-1993. Que establece los métodos de medición para determinar la concentración de bióxido de azufre en el

aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición.

- NOM-156-SEMARNAT-2012. Establecimiento y operación de sistemas de monitoreo de la calidad del aire.

5.2.4. *La Estrategia Nacional de Calidad del Aire visión 2017 a 2030 (ENCA)*

La mencionada estrategia nacional tiene como fin la conservación de los ecosistemas y el mejoramiento de la calidad del aire a fin de preservar la salud de la población. Prevé la creación de instituciones y todo aquello necesario para “controlar, mitigar y prevenir la emisión de contaminantes en la atmósfera” al menos para el año 2030. Si se analiza el marco legal, se desprende que a pesar de la existencia de normatividad mexicana para el caso, esta no está homologada con las regulaciones internacionales para determinar los valores límites de sustancias contaminantes en el aire, como los establecidos por la OMS.

Por ejemplo, para México la NOM-025-SSA1-2014 establece que el límite máximo permisible de partículas PM10 en un promedio de 24 horas es de $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que para los estándares internacionales el límite máximo es de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La misma norma cita que para las partículas PM2.5, el límite por periodo de exposición de 24 horas es de $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que para la OMS el valor límite es de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para el mismo periodo de tiempo (tabla 5.1).

Aunque las normas de calidad del aire son instrumentos legales fundamentales en la salud ambiental, su establecimiento no deja de ser polémico, en tanto no se comprenda la diferencia entre seguridad absoluta (conocimiento científico) y nivel de riesgo aceptable (estrategia político-administrativa). Los conocimientos actuales acerca de muchos de los contaminantes presentes en el aire urbano son limitados, por ende, se necesita realizar más estudios toxicológicos para conocer todos los efectos negativos en la salud. Muy a menudo, los datos son escasos y las relaciones cuantitativas son inciertas, por lo tanto, los juicios de valor a veces son inevitables y vuelven necesaria la participación social en la búsqueda de consensos para las soluciones que se adoptan (Garza, & Rodríguez-Millord, 1997).

Tabla 5.1

Comparación de estándares de las NOM y de la OMS para contaminantes criterio

CONTAMINANTE	NOM	VALORES LÍMITES NOM ($\mu\text{g} / \text{m}^3$)	OMS ($\mu\text{g} / \text{m}^3$)	PERIODO PROMEDIO
Partículas menores de 10 micras (PM10)	NOM-025-SSA1-2014	75	50	24 horas
		40	20	Aritmético anual
Partículas menores de 2.5 micras (PM2.5)	NOM-025-SSA1-2014	45	25	24 horas
		12	10	Aritmético anual
Ozono (O_3)	NOM-020-SSA1-2014	186	---	1 hora
		137	100	8 horas
Monóxido de carbono (CO)	NOM-021-SSA1-1993	12,575	---	8 horas
		---	500	10 minutos
Dióxido de azufre (SO_2)	NOM-022-SSA1-2010	288	20	24 horas
		524	---	8 horas
		66	---	Aritmético anual
Dióxido de nitrógeno (NO_2)	NOM-023-SSA1-1993	395	200	1 hora
		---	40	Aritmético anual

Fuente: Tomado de SEMARNAT (2017).

Sin embargo, a medida que se incorporan nuevos conocimientos es posible adecuar la normatividad. Por ejemplo, la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC, por sus siglas en inglés), hizo pública en octubre del año 2013 la existencia de una relación directa entre “la exposición al material particulado y el cáncer de pulmón en los humanos, catalogándolo como carcinógeno del Grupo 1”. A la vista de lo anterior, se debe realizar una valoración general de los parámetros permitidos por la Normas para favorecer la salud de la población y mitigar los efectos sobre los grupos vulnerables, pues el caso mencionado muestra que tales efectos son posibles dentro de los valores aceptados (SEMARNAT, 2017).

5.3. Programa de Evaluación y Mejoramiento de la Calidad del Aire (PEMCA)

El H. Ayuntamiento de Hermosillo, en atención a lo dispuesto en la LGEEPA y en su Reglamento en materia de Contaminación Atmosférica, así como lo estipulado por la LEEPAES, por medio del Instituto Municipal de Ecología dependiente de la Coordinación General de Infraestructura, Desarrollo Urbano y Ecología, lleva a cabo desde el año 2000 muestreos de la calidad del aire en la ciudad de Hermosillo. Este programa consiste básicamente en el monitoreo de partículas del aire ambiente urbano mediante equipos manuales de alto volumen, registrando los resultados y confrontándolos con los niveles máximos establecidos en la norma oficial mexicana NOM-025-SSA1-2014, usando los datos meteorológicos de los días de muestreo de las estaciones meteorológicas del Servicio Meteorológico Nacional ubicadas en Hermosillo, Sonora¹².

La operación del PEMCA se encuentra fundamentado en el artículo 111, fracción VI de la LEEPAES, por lo que, de acuerdo con el Plan Municipal de Desarrollo Urbano y el Programa Operativo Anual del Instituto Municipal de Ecología, se integra como parte del objetivo 4.4. “Planeación sostenible del territorio”; de la estrategia 4.4.1. “Reducir los índices de contaminación atmosférica, que permitan tener una buena calidad del aire durante todo el año”; y de la Línea de acción 4.4.1.4. “Medición de la calidad del aire con relación a la contaminación por partículas suspendidas”.

La metodología del muestreo y la determinación de la concentración de Partículas Suspendidas Totales (PST) fue realizada conforme al procedimiento descrito en la Norma Oficial Mexicana NOM-035-SEMARNAT-1994, mientras que para determinar la concentración de partículas fracción respirable (PM10), se utilizó el protocolo de muestreo y determinación de concentración señalado en el Código Federal de Regulaciones (CFR, por sus siglas en inglés), específicamente lo señalado en el Apartado 50, capítulo J (Reference Method for Determination of Particulate Matter as PM10 in the Atmosphere). La calibración de los equipos de muestreo se realizó conforme con lo descrito por el manual del fabricante.

Existen cuatro estaciones distribuidas estratégicamente en el área urbana de Hermosillo, las cuales cuentan con equipos de alto volumen para

¹² Para mayor información, consúltese la siguiente página: <https://smn.cna.gob.mx>

el muestreo de PST¹³ (figura 5.2). En tres de las estaciones del PEMCA, también existen equipos para el monitoreo de PM10. Los equipos situados en el punto norte y sur-poniente son modelos TE-6070V para PM10, propiedad del H. Ayuntamiento, mientras que en la estación norte se ubica el equipo propiedad de la Universidad Estatal de Sonora y es modelo TE-6070 (tabla 5.2).

Los resultados del monitoreo de PST fueron utilizados para conformar una base de datos que ha permitido identificar las zonas con mayor índice de contaminación por estas partículas en la ciudad (tabla 5.3). Dichos resultados se expresan en microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) y son comparados con los valores máximos permisibles señalados en la NOM-025-SSA1-2014.

¹³ Debido a la modificación de la norma que las regulaba, las PST solo se monitorearon hasta el 2014 (año incompleto).



Figura 5.2. Distribución de las estaciones de monitoreo del PEMCA
Fuente: Instituto Municipal de Ecología (2017).

Tabla 5.2*Descripción de las estaciones de muestreo del PEMCA*

ESTACIÓN	EQUIPOS INSTALADOS	UBICACIÓN	LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA
Noroeste (CBTIS 206)	Alto volumen PST (has- ta 2013) y PM10	Sobre un edificio del Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicio No. 206, ubicado en República de Colombia entre Cócorit y Bacobampo, col. Misión	N29° 07' 06.43" W111° 00' 25.54"
Norte (UES)	Alto volumen PST (has- ta 2013) y PM10	Sobre un edificio de la Universidad Estatal de Sonora, ubicada en Ley Federal del Trabajo s/n, col. Apolo.	N29° 07' 17.78" W110° 57' 40.61"
Centro (MORELIA)	PST alto volumen (hasta 2013)	Sobre edificio de la Coordinación General de Infraestructura, Desarrollo Urbano y Ecología del H. Ayuntamiento, ubicado en av. Morelia, No. 220, entre Carbó y Palma, col. Centro.	N29° 04' 43.92" W110° 56' 32.25"
Sur (COBACH)	Alto volumen PST (has- ta 2013) y PM10	Sobre un edificio del Colegio de Bachilleres del Estado de Sonora, plantel "Villa de Seris", ubicado en blvr. Vildósola Sur s/n y av. Bachilleres, col. Villa de Seris	N29° 02' 40.07" W110° 57' 30.73"

Fuente: Instituto Municipal de Ecología (2017).

Por otro lado, la figura 5.3 muestra los resultados de concentración anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) del período de 2000 a 2014 para partículas PST, ya que posteriormente dejó de muestrearse debido a la derogación de la NOM-024-SSA1-1993, que no requería su regulación, a pesar de haber evidencia de su posible utilidad en salud ambiental para la estimación del riesgo ambiental en salud (Meza-Figueroa et al., 2016).

Los resultados de concentración anual del período de 2000 a 2017 para partículas PM10 se presentan en la tabla 5.4, donde se puede apreciar que la estación centro se reubicó en 2017, mientras se habilitó una quinta estación de monitoreo para PM10¹⁴.

¹⁴ Los años en que no se muestran resultados es debido a que no se colectó, por lo menos, 75% de las muestras programadas en el calendario anual de muestreo.

Tabla 5.3*Concentraciones de PST a lo largo del periodo muestreado (2000-2014)*

CONTAMINANTE	FECHA	EST. NORTE (UES)	EST. NOROESTE (CBTIS 206)	EST. CENTRO (CONJ. MO- RELIA)	EST. SUR (CO- BACH VILLA DE SERIS)
PST	2000	139.22	277.94	119.30	-
PST	2001	132.00	244.64	122.05	-
PST	2002	143.10	207.06	111.42	-
PST	2003	148.89	289.27	123.55	-
PST	2004	131.83	180.26	93.22	-
PST	2005	107.13	187.76	99.94	-
PST	2006	118.88	193.60	99.17	-
PST	2007	122.05	254.09	113.87	141.04
PST	2008	126.04	233.55	100.14	115.59
PST	2009	156.79	271.79	110.38	134.08
PST	2010	80.85	191.58	74.97	106.62
PST	2011	116.75	195.68	99.24	134.02
PST	2012	105.89	212.24	99.19	122.18
PST	2013	97.81	168.09	104.17	100.28
PST	2014	108.80	249.04	94.89	102.40

Fuente: Instituto Municipal de Ecología (2017).

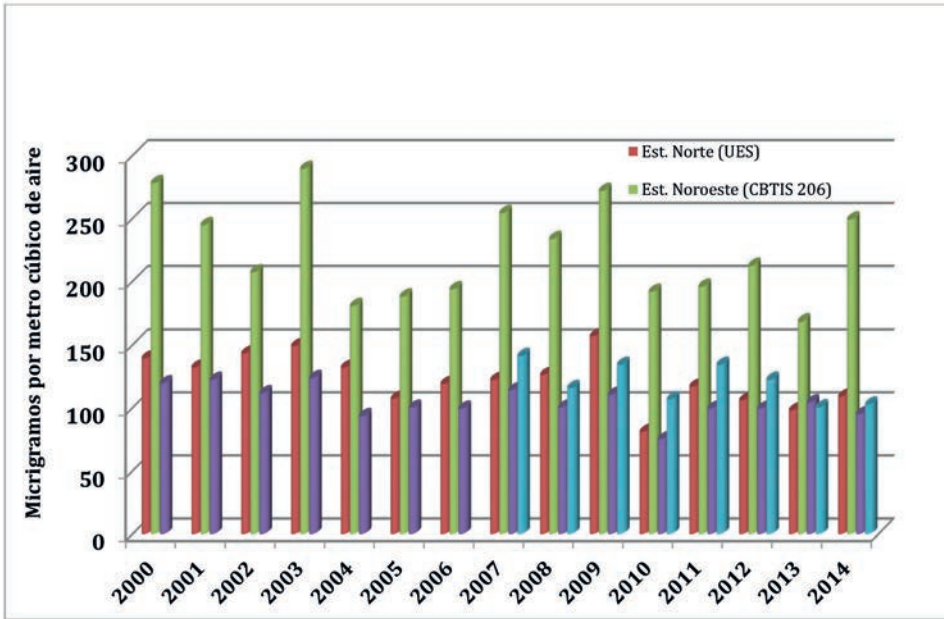


Figura 5.3. Concentración media anual de PST por estación del PEMCA (2000-2014)

Fuente: Instituto Municipal de Ecología (2017).

A lo largo de estas casi dos décadas de su establecimiento, el PEMCA se ha mantenido en operación a pesar de las carencias presupuestales, ya que a diferencia de otras grandes ciudades donde el recurso para los equipos, operación e insumos proviene de financiamiento federal y/o estatal, este programa se mantiene con recursos propios del Ayuntamiento.

A inicios del año 2018, se integró al PEMCA la operación de dos equipos modelo *Omni Ft* de bajo volumen con alimentación de energía eléctrica o solar, propiedad del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora, los cuales, mediante acuerdo de colaboración, fueron prestados al H. Ayuntamiento de Hermosillo por un período de seis meses para que los resultados se integraran a la red de resultados del PEMCA. Estos equipos fueron programados para muestrear partículas PM_{2.5} y se instalaron en las estaciones norte (UES) y sur-poniente (COBACH Villa Bonita).

Los resultados de este programa forman parte de las bases técnicas que la Coordinación General de Infraestructura, Desarrollo Urbano y Ecolo-

gía ha utilizado para operar programas emergentes con el objetivo de mitigar la contaminación por polvos y otras partículas: programas de riego de vialidades, reforestación de áreas, propuesta y desarrollo de parques al poniente de la ciudad, así como una mayor atención a la zona poniente para los programas de pavimentación. Asimismo, los filtros que se colectan como parte de este programa han servido de base para conducir investigaciones enfocadas en determinar la composición de las partículas atrapadas en los filtros que se usan.

Tabla 5.4

Concentraciones de PM10 a lo largo del periodo muestreado (2000-2017)

AÑO DE MUESTREO	CONCENTRACIÓN PROMEDIO ANUAL PARA PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				
	Est. norte (UES)	Est. noroeste (CBTIS 206)	Est. sur (CO-BACH VILLA DE SERIS)	Est. Villa Bonita	RUOA (centro)
2000	56.3	106.7	-	-	-
2001	57.5	83.3	-	-	-
2002	48.8	75.2	-	-	-
2003	-	-	-	-	-
2004	43.6	60.6	-	-	-
2005	24.5	49.6	-	-	-
2006		79.0	-	-	-
2007		56.2	92-.2	-	-
2008	26.0	55.4	76.3	-	-
2009	33.90	68.41	83.48	-	-
2010	21.61	50.55	68.25	-	-
2011	27.19	56.25	67.87	-	-
2012	-	-	67.23	-	-
2016	47.7		50.30		44.8
2017	47.6		50.6	75.4	39.8

Fuente: Instituto Municipal de Ecología (2017).

5.4. Estudios de calidad del aire en Hermosillo

Los primeros estudios sobre calidad del aire del centro de población de Hermosillo, aprovecharon los registros de PST reportados por el PEMCA. En el periodo 2001-2002, Cruz-Campas y colaboradores (2013) determinaron que la calidad del aire en Hermosillo respecto a las PST se encontraba entre no satisfactoria y mala, basados en los registros de tres estaciones de monitoreo, ubicadas en ese entonces en el centro, noreste (ahora norte) y noroeste de la ciudad. Las concentraciones de PST en las estaciones centro y noroeste frecuentemente rebasaron los máximos permisibles en 24 h y en las 3 estaciones se rebasó el máximo permisible anual (figura 5.4).

Aunque la norma oficial mexicana que establecía los límites máximos permisibles para PST y su forma de medición (NOM-024-SSA1-1993), desapareció con la actualización de la normatividad en materia de salud ambiental en el año 2014¹⁵, es evidente que la concentración de partículas suspendidas en la atmósfera urbana de Hermosillo es considerable. Esto se demostró en una tesis de Ingeniería Ambiental Industrial de la Universidad Estatal de Sonora (Nieblas, 2016), donde se evaluaron las concentraciones de PST en Hermosillo en la década del 2000 al 2010.

Dicho estudio consideró una estación adicional del PEMCA, ubicada al sur de la ciudad, y concluyó que durante este periodo la calidad del aire fue no satisfactoria en Hermosillo para PST. Los valores máximos se observaron más en la zona norte de la ciudad, en los meses de noviembre, diciembre y enero; disminuyendo en marzo, julio y agosto, con valores altos frecuentemente en los meses de mayo y junio.

A pesar de la mala calidad del aire que se observa por PST, Hermosillo no llega a los niveles de contaminación que han registrado otras ciudades en el estado, como Nogales y Puerto Peñasco (figura 5.5). No obstante, Hermosillo ha presentado concentraciones elevadas de plomo (Pb) en las PM (Cruz-Campas et al., 2017). En dicho estudio se analizó la presencia y concentración de metales en el aire en seis ciudades de Sonora durante el 2010, en las que Hermosillo tuvo 98% de días con Pb, 80% presencia de níquel (Ni), 98% de días con cobre (Cu) en aire, y ningún día con cromo (Cr) en aire. Sin embargo, otro estudio realizado anteriormente encon-

¹⁵ La normatividad tiende a regular tamaños de partículas no mayores a 10 micra, las cuales son las que pueden ser inhaladas por el tracto respiratorio y cuya asociación con efectos en la salud se ha demostrado más consistente.

tró concentraciones preocupantes de cadmio (Cd) en las PM sedimentadas sobre los techos de 25 escuelas primarias de la ciudad de Hermosillo (Meza-Figueroa et al., 2007). En este estudio se logró establecer que los metales presentes en las PM de la zona norte de Hermosillo son más bien de origen natural, mientras que, en la zona sur de la ciudad, los metales pesados identificados son indicadores de contaminación antropogénica derivada de actividades industriales y tráfico vehicular.

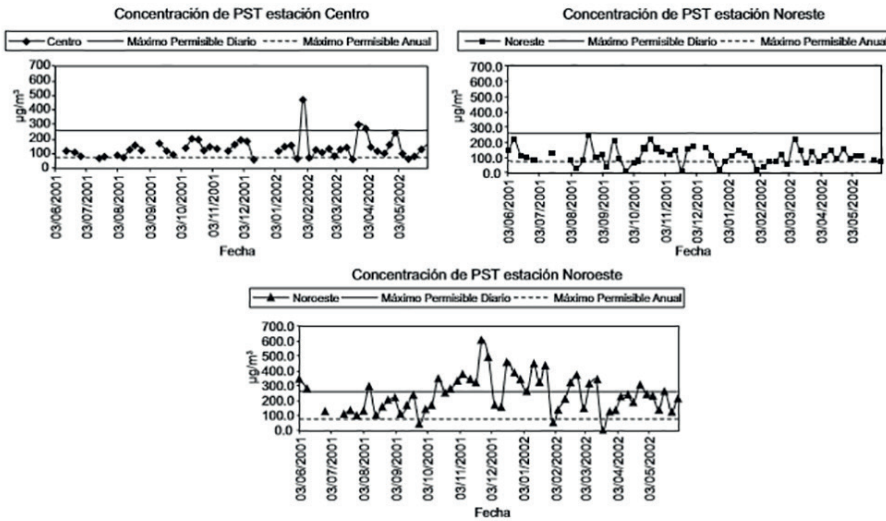


Figura 5.4. Distribución y comparación de concentraciones de PST con los máximos permisibles, según la NOM-024-SSA1-1993, en tres sitios de monitoreo, durante el período junio de 2001 a mayo de 2002 en Hermosillo, Sonora, México
Fuente: Tomado de Cruz-Campas et al. (2013).

Esta situación puede estar impactando de manera importante la salud de la población, ya que la presencia de metales pesados en las partículas pudo haber contribuido en 23% de muertes por cáncer que se reportó a nivel mundial, y ser factor de riesgo para trastornos del neurodesarrollo infantil y neurodegenerativos en adultos (Landrigan, 2017). El rastreo de la fuente de metales pesados en el medio ambiente es fundamental para comprender el nivel de contaminación y su destino, ya que los materiales geológicos son una fuente importante de partículas suspendidas en el aire y pueden formar parte de la composición química natural del polvo. Además, la exposición a metales pesados representa en sí un riesgo para la salud, sobre todo para las categorías de edad más vulnerables, como son niños, mujeres embarazadas y adultos mayores (Fortoul, 1997). El efecto

tóxico de los metales pesados en la salud puede atribuirse a la concentración de contaminantes en la atmósfera, así como al tiempo al que estos permanecen en la matriz ambiental.

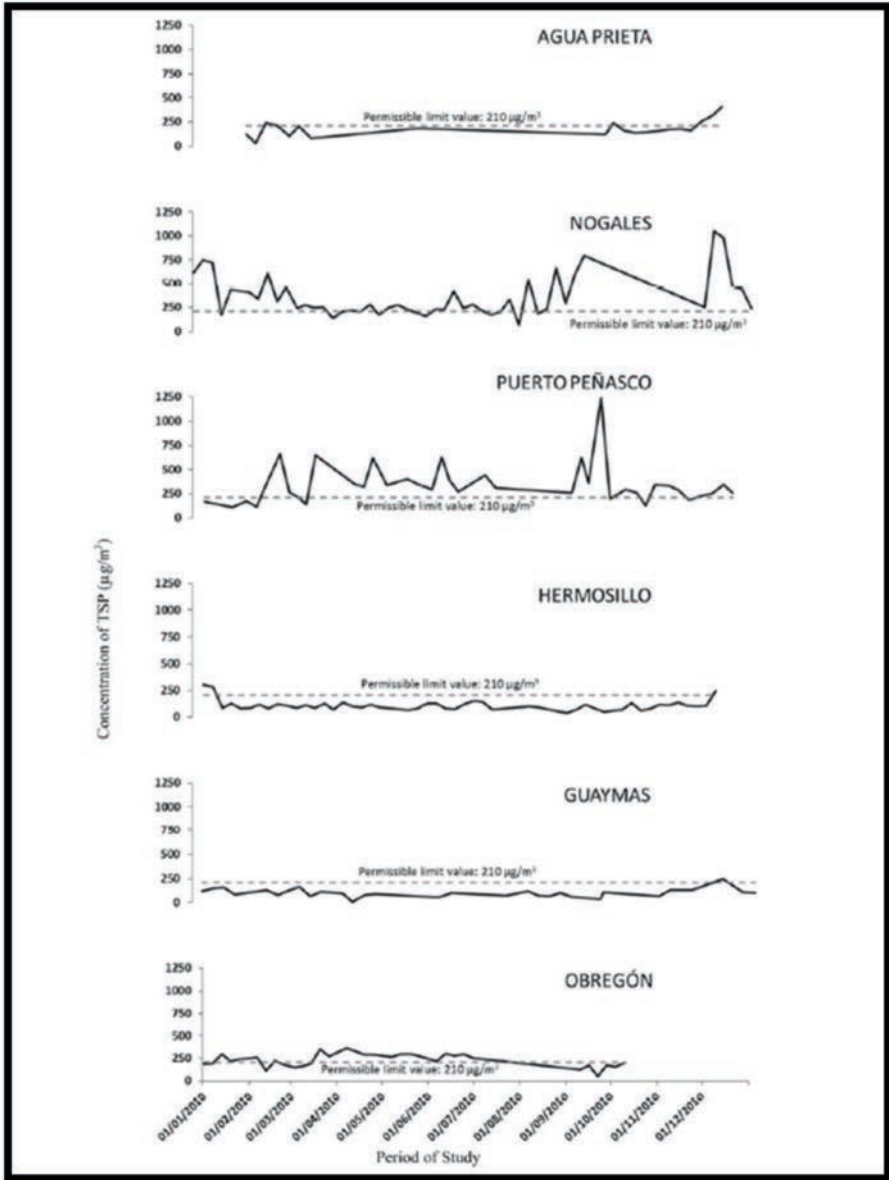


Figura 5.5. Comparación de las concentraciones de PST en seis ciudades de Sonora en 2010

Fuente: Tomado de Cruz-Campas (2014).

A pesar de tener en operación el PEMCA y ser de los pocos municipios que tienen implementado un sistema de monitoreo de PM, el municipio de Hermosillo fue objeto de una demanda en el 2005 ante la Comisión de Cooperación Ambiental para América del Norte (CCA)¹⁶, por supuestas omisiones de las disposiciones de la LGEEPA por carecer de planes y programas para la prevención y control de emisiones que contaminan la atmósfera urbana de la ciudad (CCA, 2014).

La inexistencia de un programa de verificación vehicular fue un factor decisivo que derivó en la conformación de un expediente de hechos, ya que, por otro lado, el Ayuntamiento de Hermosillo pudo comprobar que realiza acciones tendientes a mejorar la calidad del aire en la ciudad, como lo establece el propio PEMCA, así como la aplicación de otros instrumentos, a saber, las visitas de inspección, el programa de contingencia ambiental y el mismo Programa Municipal de Desarrollo Urbano, el cual establece la zonificación del territorio municipal para los diferentes giros permitidos (CCA, 2014).

El gobierno de México señaló ante la CCA, que los problemas enfrentados por Hermosillo para obtener datos válidos sobre la calidad del aire se relacionan con “la topografía, las variaciones climatológicas extremas” y el tránsito de vehículos sobre espacios no pavimentados. Las condiciones del ambiente desértico, donde se encuentra ubicada la ciudad, confieren las características minerales de las partículas presentes en la atmósfera urbana de Hermosillo, dominadas por plagioclasa (anortita-albita), cuarzo, calcita y fases de montmorilonita con sulfato de bario, así como partículas enriquecidas con cobre (Cu), hierro (Fe) y cerio (Ce) (Moreno-Rodríguez et al., 2015).

Al analizar las PST de los filtros del PEMCA en el periodo del 2000 al 2012, este grupo de investigadores logró determinar que las partículas suspendidas no solo provenían del efecto erosivo natural del suelo, sino que se encontraron metales provenientes del cemento y del tráfico vehicular. El estudio logró determinar que la presencia de PST después del periodo de lluvias de verano (octubre-marzo) parece estar relacionada con el patrón de lluvias del Monzón de América del Norte en el entorno urbano de Hermosillo. Asimismo, la falta de un sistema de drenaje de aguas pluvia-

¹⁶ Organismo trilateral surgido dentro de los acuerdos del Tratado de Libre Comercio para América del Norte (TLCAN) en materia de cumplimiento ambiental, con sede en Montreal, Canadá

les, la escorrentía superficial, el depósito de sedimentos pos-lluvia y el uso no planificado de la tierra en la ciudad podrían ser cofactores que contribuyen a aumentar las emisiones de partículas (Moreno-Rodríguez et al., 2015). Según la investigación, el rápido crecimiento urbano ha causado una expansión en la industria de la construcción y, como consecuencia, un incremento en la demanda de cemento, así como una pérdida gradual de áreas verdes. Se encontró una relación entre las variaciones de Zn, Cu, Co, Ni y Sr en PST y PM10 con las muestras de marcas locales de cemento, lo cual sugiere una importante contribución de parte del cemento al polvo atmosférico, sin embargo, se desconoce si tal contribución se debe al cemento derivado de la fabricación, de las actividades de construcción o de la erosión de los edificios.

La combinación de los factores naturales y antropogénicos promueve la escorrentía superficial y los flujos de aguas pluviales que transportan contaminantes desde superficies impermeables, como calles, estacionamientos, aceras, techos, etc. La existencia de cuencas urbanas donde los sedimentos se depositan y vuelven a suspenderse, ya sea por acción del viento (por ejemplo, el área de la Presa Abelardo L. Rodríguez), o por el tráfico y otras actividades urbanas, se convierte en una importante fuente de emisión de partículas después de la temporada del monzón. En Hermosillo, el proceso observado de resuspensión/sedimentación de las partículas es el resultado del efecto de la erosión, el tráfico vehicular y la topografía de la zona urbana (Del Río-Salas et al., 2012).

Sin embargo, las PM no tendrían un impacto importante en la salud si la población humana no estuviera expuesta. Dicha exposición en Hermosillo resulta relevante, ya que las PM presentes a nivel de suelo contienen, incluso, metales pesados como el Pb (Meza-Figueroa et al., 2016). Las emisiones antropogénicas de elementos químicos y aerosoles pueden superponerse a la composición química natural del polvo, pues la precipitación de sustancias nocivas conduce a la contaminación de los suelos, que almacenan temporalmente estas sustancias, empero, la resuspensión del polvo del suelo y el polvo de las orillas de las carreteras puede transportar contaminantes a entornos más sensibles como el aire. Por ello, resulta relevante no solamente conocer la concentración de las partículas (regularmente en $\mu\text{g}/\text{m}^3$), sino la composición química de las mismas.

En un estudio se determinó que la alta correlación de Fe y Cu demuestra que las actividades vehiculares e industriales son la principal fuente de metales pesados en el sureste de la ciudad. Las muestras con concentra-

ciones más altas de níquel (Ni) y vanadio (V) se encuentran cerca de la zona industrial, la cual podría ser la fuente potencial de contaminación atmosférica por esos metales (Meza-Figueroa et al., 2007). A pesar de esto, los responsables de las infecciones respiratorias agudas no son directamente los metales, sino los microorganismos patógenos transportados en el aire ambiente (regularmente asociados a una partícula o aerosol). No obstante, en un estudio sobre las PM registradas en el 2010, se encontró una correlación de 0.78 entre las infecciones respiratorias agudas de la población de Hermosillo y el Cu presente en las PM, mientras que, para este metal, con neumonías y bronconeumonías, existe una correlación de 0.61. No se encontraron correlaciones respecto a otros metales y los registros mensuales de la morbilidad respiratoria para el caso de Hermosillo (Cruz-Campas et al., 2017).

La presencia de material biológico en la atmósfera urbana de Hermosillo puede estar asociada a la alta carga de enfermedades respiratorias, sobre todo durante el otoño y el invierno. En el 2011, Santos-Romo y colaboradores (2014) analizaron los filtros de las estaciones del PEMCA de la ciudad y encontraron bacterias responsables de algunas infecciones respiratorias, tales como *Klebsiella pneumoniae sub pneumoniae* y *Pseudomonas spp.* Se determinó que el aire del centro de la ciudad tuvo mayor contaminación bacteriana en comparación con el del norte y sur en ese año. En 50% de las muestras analizadas se detectaron coliformes fecales: 100% de presencia en la zona centro y el 33% en la zona norte de Hermosillo. Además, la bacteria con mayor frecuencia en todas las muestras de PM fue el *Enterococcus faecalis*, indicando que una mala calidad del aire puede también tener repercusiones en la salud gastrointestinal por ingestión de este patógeno de manera indirecta.

Por otro lado, la prevalencia de alergias del tracto respiratorio puede deberse a la presencia de esporas de hongos y distintos pólenes comunes en la región, comúnmente observados en mayor cantidad en los meses de agosto y septiembre (Ortega-Rosas et al., 2015). Se han detectado esporas de *Alternaria*, *Ascosporas*, *Basidiosporas*, *Bipolaris*, *Cladosporium*, las cuales junto a los granos de polen de *Poaceae*, *Chenopodiaceae-Amaranthaceae*, *Nyctagenaceae*, *Ambrosia*, *Urticaceae*, *Celtis* y *Asteraceae*, conforman alrededor de 80% de la aerobiología de esporas y polen de la ciudad de Hermosillo.

Estos resultados han podido tener un impacto significativo en la salud respiratoria de la población, sobre todo en las categorías de menor edad. De acuerdo con los registros de la Secretaría de Salud Pública, se estable-

ció que para el municipio de Hermosillo durante el año 2001, las infecciones respiratorias agudas (IRAS) “correspondieron a 248,104 casos”, es decir, “3,762 por cada 10,000 habitantes. El grupo de edad de 1 a 4 años fue el que reportó más eventos con 63,238 seguido del grupo de 25 a 44 años con 44,929; los siguientes dos grupos de edad con mayor índice fueron los de menos de 1 año con 35,701 y el de 5 a 9 años con 34,961 casos. De esta manera, el rango de edad de 0 a 9 años sumó 133,900 incidentes, los cuales representaron 54% de las enfermedades respiratorias agudas para este municipio en ese año” (Cruz-Campas et al., 2013).

5.5. Conclusiones

La ubicación geográfica donde se encuentra asentada la ciudad de Hermosillo hace de este centro de población un lugar susceptible a la contaminación atmosférica por PM debido a las características del suelo, la topografía del lugar y los factores climáticos (temperaturas extremas, régimen de lluvias y dirección de vientos).

Aunque Hermosillo no es la ciudad con la peor calidad del aire en el estado de Sonora, en ninguna de las áreas monitoreadas de la ciudad se ha logrado registrar 100% de los muestreos con buena calidad del aire en un año. Ante esta realidad, es recomendable fomentar medidas tendientes a controlar la contaminación atmosférica, dado el tamaño de su población, tales como la presencia de áreas verdes urbanas, mantenimiento de vialidades, reducción de quemas de combustibles fósiles, buenas prácticas agrícolas en la zona rural, entre otras.

La calidad del aire varía en tiempo y espacio a lo largo y ancho de la ciudad, además, el comportamiento de las PM también difiere de la naturaleza química y biológica de las mismas. La mala calidad del aire se agudiza en temporada invernal por las diferencias de condensaciones y el efecto invernadero, lo que ocasiona la persistencia de sustancias contaminantes en el aire por días, semanas e incluso meses. Es necesario fortalecer el PEMCA con el incremento del número de equipos de muestreo para PM₁₀ y PM_{2.5}, y contar con equipos automatizados que permitan tener resultados de la calidad del aire en tiempo real, creando un sistema de alerta inmediata sobre posibles contingencias. La presencia de aerosoles y gases no se monitorea de forma regular y generalizada en Hermosillo, por consiguiente, sería recomendable ampliar el monitoreo a este tipo de contaminantes para poder estimar los potenciales efectos en la salud.

5.6. Bibliografía

- Bell, M., & Samet, J. (2010). Contaminación del Aire (Capítulo 14, pp. 359-393). En H. Frumkin (Ed.), *Salud Ambiental de lo global a lo local*. México: OPS.
- CCA. (2014). *Contaminación ambiental en Hermosillo II: expediente de hechos relativo a la petición SEM-05-003* (116 pp.). Montreal, Canadá: Comisión para la Cooperación Ambiental.
- Cruz-Campas, M. (2014). *Evaluación de la calidad del aire respecto de partículas suspendidas totales (PST) y metales (Pb, Cd, Ni, Cu, Cr) en seis ciudades de Sonora, México, durante un periodo anual* (Tesis de posgrado para obtener el grado de Doctor en Ciencias). México: Instituto de Ingeniería. Universidad Autónoma de Baja California.
- Cruz-Campas, M., Gómez-Álvarez, A., Quintero-Núñez, M., & Varela-Salazar, J. (2013). Evaluación de la Calidad del Aire respecto de Partículas Suspendidas Totales (PST) y metales pesados (Pb, Cd, Ni, Cu, Cr) en la ciudad de Hermosillo, Sonora, México, durante un periodo anual. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 29(4), 269-83.
- Cruz-Campas, M., Gómez-Álvarez, A., Ramírez-Leal, R., Villalba-Villalba, A., Monge-Amaya, O., Varela-Salazar, J., Quiroz-Castillo, J., & Duarte-Tagles, H. (2017). Calidad del aire respecto de metales (Pb, Cd, Ni, Cu, Cr) y relación con salud respiratoria: caso Sonora, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33, 23-34.
- Del Río-Salas, R., Ruiz, J., De la O-Villanueva, M., Valencia-Moreno, M., Moreno-Rodríguez, V., Gómez-Álvarez, A., Grijalva, T., Mendivil, H., Paz-Moreno, F., & Meza-Figueroa, D. (2012). Tracing geogenic and anthropogenic sources in urban dusts: Insides from lead isotopes. *Atmospheric Environment*, 60, 202-10.
- Fortoul, T. (1997). Efectos en la salud por partículas suspendidas y óxidos de azufre. Capítulo 3: Efectos agudos de los contaminantes del aire (pp. 159-175). En H. Gutiérrez, I. Romieu, G. Corey, & T. Fortoul (Eds.), *Contaminación del aire. Riesgos para la salud*. México: Ed. Manual Moderno.
- Garza, A., & Rodríguez-Millord, D. (1997). Criterios, lineamientos y normas de calidad del aire. Capítulo 5. En H. Gutiérrez, I. Romieu, G.

- Corey, T. Fortoul (Eds.), *Contaminación del aire. Riesgos para la salud*. México: Ed. Manual Moderno.
- Instituto Municipal de Ecología. (2017). Informe de Resultados. Programa de Evaluación y Mejoramiento de la Calidad del Aire (PEM-CA) de Hermosillo, Sonora. H. Ayuntamiento de Hermosillo.
- Landrigan, P. (2017). Air pollution and health. *Lancet Public Health*, 2, e4-5.
- Masters, G., & Ela, W. P. (2008). *Introducción a la Ingeniería Medioambiental* (737 pp.). España: Ed. Pearson.
- Meza-Figueroa, D., De la O-Villanueva, M., & De la Parra, M. L. (2007). Heavy metal distribution in dust from elementary schools in Hermosillo, Sonora, Mexico. *Atmospheric Environment*, 41, 276-88.
- Meza-Figueroa, D., González-Grijalva, B., Del Río-Salas, R., Coimbra, R., Ochoa-Landín, L., & Moreno-Rodríguez, V. (2016). Traffic signatures in suspended dust at pedestrian levels in semiarid zones: Implications for human exposures. *Atmospheric Environment*, 138, 4-14.
- Moreno-Rodríguez, V., Del Río-Salas, R., Adams, D. K., Ochoa-Landín, L., Zepeda, J., Gómez-Álvarez, A., Palafox-Reyes, J., & Meza-Figueroa, D. (2015). Historical trends and sources of TSP in a Sonoran desert city: Can the North America Monsoon enhance dust emissions? *Atmospheric Environment*, 110, 111-21.
- Nieblas-Ramos, L. F. (2016). *Partículas Suspensas Totales (PST) en Hermosillo, Sonora, México: Década 2000-2010* (Tesis de licenciatura para obtener el grado de Ingeniería Ambiental Industrial). México: Universidad Estatal de Sonora.
- OMS. (2006). *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre* (21 pp.). Actualización Mundial 2005. Ginebra, Suiza, Ediciones de la OMS.
- Ortega-Rosas, C. I., Calderón-Ezquerro, M. C., Amaya-García, V. M., & Macías-Duarte, A. (2015). Monitoreo de la calidad biológica del aire en la ciudad de Hermosillo, Sonora, integración de la Red Mexicana de Aerobiología (REMA). *Revista de la Universidad Estatal de Sonora*, Supl. 1, 7.
- Santos-Romo, A., Sau-Acosta, N. J., Certucha-Barragán, M. T., Almenáriz-Tapia, F. J., Monge-Amaya, O., Hernández-López, J., & Zepeda-Ibarra, J. (2014). Microbiological Identification of Atmospheric

Particles in Hermosillo, Sonora, Mexico. *Journal of Environmental Protection*, 5, 376-386.

SEMARNAT. (2017). *Estrategia Nacional de Calidad del Aire. Visión 2017-2030* (70 pp.). México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Strauss, J., & Mainwaring, S. J. (1990). Contaminación del aire. Causas, efectos y soluciones (177 pp.). México: Trillas.

Tonne, C. (2017). A call for epidemiology where the air pollution is. *Lancet Planetary Health*, 1, e355-6.

Residuos municipales y salud en el centro de población de Hermosillo

Clara Rosalía Álvarez Chávez
María Engracia Arce Corrales

6.1. Situación mundial

La actividad desarrollada por el ser humano para satisfacer sus necesidades y la búsqueda que ha emprendido para adquirir un mayor bienestar demandan que, en la cadena de producción y servicios, exista flujo de materiales, los cuales generan subproductos carentes de un valor útil para el proceso o para quien dio lugar a ello. Estos subproductos son conocidos comúnmente como “basura” o “residuos” y han ido cambiando tanto en volumen como en composición, a medida que la población ha incrementado y ha modificado los patrones de producción y consumo de bienes y de servicios (Álvarez, & Duarte-Tagles, 2017). Así también, existen otros factores que contribuyen al tipo y composición de la basura: características demográficas, socioeconómicas, las condiciones climáticas regionales, grado de reciclaje y frecuencia de la recolección (Kumar, & Samadder, 2017).

Actualmente, el lugar de asentamiento humano dominante en el planeta lo ocupan las ciudades (United Nations, 2014; WHO, 2010), lugares donde el flujo de los materiales, determinado por una población caracterizada como altamente consumista, origina un gran volumen de residuos que impactan de manera importante en los ecosistemas (Dobbs et al., 2012). Según el Banco Mundial, la generación de residuos en las ciudades

crece en relación directa con el aumento poblacional. Las proyecciones al respecto indican que esta tendencia seguirá permaneciendo, pues de “los 2.9 billones de personas que vivían en las ciudades a inicios del presente siglo y que generaban 0.64 kg de residuos sólidos per cápita/día”, se estima que para el 2025, “los residentes urbanos” alcancen la cifra de “4.3 billones” y generen “1.42 kg/per cápita/día de residuos sólidos” (Hoorweg, & Bhada-Tata, 2012).

La generación de estos residuos en las ciudades proviene de descargas de diversos procesos industriales, de los servicios que requiere la población y de la actividad doméstica. Esta dinámica tiene como resultado desechos en estado sólido, líquido o gaseoso, de ahí su centralidad como uno de los problemas ambientales más destacados en las ciudades (Álvarez, & Duarte-Tagles, 2017).

Hoy se reconoce que el futuro de la humanidad depende del adecuado manejo de los materiales y sus subproductos durante todo su ciclo de vida. Con ello se busca que su gestión en cada una de sus etapas conduzca a la reducción de sus impactos adversos y, hasta donde sea posible, a su valorización mediante su aprovechamiento (Bisschop, 2016). Asimismo, es de gran importancia que los patrones de producción y consumo de la población sean más amigables con el ambiente (UNEP, 2013), ya que la ignorancia u omisión de este enfoque puede llevar hacia consecuencias negativas en la salud del ser humano, en el ambiente y en el ámbito económico, con un demérito del desarrollo sustentable (ONU, 2016). Por tales motivos, existen regulaciones nacionales, estatales y locales que señalan la óptima disposición de los desechos y los clasifica en tres tipos: Residuos Sólidos Urbanos (RSU), Residuos de Manejo Especial (RME) y Residuos Peligrosos (RP).

6.2. Marco legal en materia de residuos

En la figura 6.1 se puede apreciar gráficamente el marco normativo general de los residuos en México.

6.2.1. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)

Hace referencia a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como a la protección al ambiente, en el territorio nacional y las

zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción haciendo énfasis en la prevención y control de la contaminación de agua, aire y suelo. Dicha Ley aborda competencias jurisdiccionales (federación, estados, municipios) en materia de residuos.

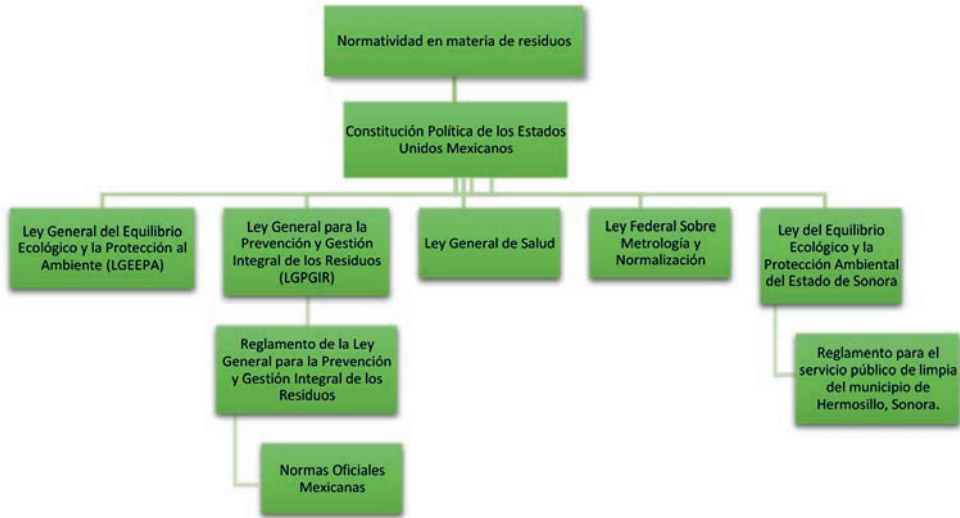


Figura 6.1. Normatividad en materia de residuos
Fuente: Elaboración propia.

6.2.2. *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGP-GIR)*

Esta Ley fue publicada el 08 de octubre del 2003 en el Diario Oficial de la Federación, y posteriormente reformada con la finalidad de adaptarse a la transformación que continuamente sufren las actividades productivas, tecnologías y estrategias para el manejo, tratamiento y disposición final de los residuos. La LGPGIR establece las competencias jurisdiccionales de los tres niveles de gobierno en cuanto al manejo de los residuos y problemáticas relacionadas.

6.2.3. *Ley del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado de Sonora (LEEPAES)*

La cual tiene por objeto propiciar el desarrollo sustentable y establecer las bases para la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así

como para la protección al ambiente, en el territorio del Estado que no sea de jurisdicción federal. Dentro de dichas competencias se encuentran las competencias del Estado y los ayuntamientos en materia de residuos.

6.2.4. Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR)

Como su nombre lo indica, tiene como objeto reglamentar la LGPGIR y rige en todo el territorio nacional y las zonas donde la nación ejerce su jurisdicción y su aplicación corresponde al Ejecutivo Federal, por conducto de la SEMARNAT.

6.2.5. Normas Oficiales Mexicanas

Las normas oficiales mexicanas que regulan el tema de residuos en nuestro territorio nacional son las siguientes:

- NOM-052-SEMARNAT-2005. Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos.
- NOM-053-SEMARNAT-1993. Que establece el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.
- NOM-054-SEMARNAT-1993. Que establece el procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o más residuos considerados como peligrosos por la Norma Oficial Mexicana NOM-052-ECOL-1993.
- NOM-055-SEMARNAT-2003. Que establece los requisitos que deben reunir los sitios que se destinarán para un confinamiento controlado de residuos peligrosos previamente estabilizados.
- NOM-056-SEMARNAT-1993. Que establece los requisitos para el diseño y construcción de las obras complementarias de un confinamiento controlado de residuos peligrosos.
- NOM-057-SEMARNAT-1993. Que establece los requisitos que deben observarse en el diseño, construcción y operación de celdas de un confinamiento controlado para residuos peligrosos.

- NOM-083-SEMARNAT-2003. Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.
- NOM-087-ECOL-SSA1-2002. Protección ambiental - salud ambiental - residuos peligrosos biológico-infecciosos - clasificación y especificaciones de manejo.
- NOM-098-SEMARNAT-2002. Protección ambiental - incineración de residuos, especificaciones de operación y límites de emisión de contaminantes.
- NOM-161-SEMARNAT-2011. Criterios para clasificar a los residuos de manejo especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo.

6.2.6. Reglamento para el Servicio Público de Limpia del Municipio de Hermosillo

Este reglamento tiene por “objeto regular las acciones del Ayuntamiento de Hermosillo, tendientes a mantener la limpieza en su jurisdicción municipal, así como establecer las obligaciones y derechos que en esta materia corresponde a sus habitantes”.

6.2.7. Clasificación y disposición de residuos

Los RSU son aquellos que se generan en las casas habitación, los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos y los que provienen de cualquier actividad dentro de establecimientos que la LGPGIR no considere como grandes generadores (igual o superior a 10 toneladas/año). Estos se dividen en residuos orgánicos e inorgánicos, siendo los primeros todo desecho de origen biológico, tales como cuero, residuos alimenticios, madera, residuos de jardinería, entre otros. Los segundos son todos aquellos desechos que no son de origen biológico, como plástico, aluminio, vidrio, entre otros más.

En el 2012, en México se generaban poco más de 38 millones de toneladas de RSU diariamente, de estos se estima que se recolectaba alrededor

de 78%; es responsabilidad de los municipios realizar la gestión integral de los RSU de acuerdo con la legislación ambiental de México (Burgos et al., 2012).

Los RME son aquellos generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados peligrosos o como RSU, o que son producidos por grandes generadores de RSU (igual o superior a 10 toneladas/año), entre los que se incluyen a los agroplásticos, excretas, lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales (municipales), residuos de construcción y demolición, electrodomésticos, electrónicos, vehículos al final de su vida útil, llantas, residuos de aeropuertos y de tiendas de autoservicio, textiles, entre otros (DOF, 2013).

El artículo 9 de la LGPGIR establece que es facultad del Estado autorizar el manejo integral de RME e identificar los que dentro de su territorio puedan estar sujetos a planes de manejo. Asimismo, en la NOM-161-SEMARNAT-2011 se encuentra el listado de los residuos de manejo especial que requieren de la elaboración de un plan de manejo.

Finalmente, los RP son definidos, de acuerdo con la LGPGIR, como aquellos que poseen alguna de las características CRETIB que les confieren peligrosidad: corrosividad, C; reactividad, R; explosividad, E; toxicidad, T; inflamabilidad, I; o ser biológico-infecciosos, B; así como los materiales, envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan estado en contacto con los mismos (DOF, 2006). De igual forma, la misma Ley establece en su artículo 7 que la Federación es la encargada de la regulación y control del manejo de los materiales y RP, mientras que la norma oficial mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005 proporciona las características, procedimientos de identificación, clasificación y listados de los RP a nivel nacional.

Varias investigaciones indican que la gestión de residuos deficiente e ilegal es la causa mundial más importante de contaminación del suelo y aguas subterráneas; por consiguiente, una inadecuada administración de los RP puede causar efectos adversos para la salud en las poblaciones que viven cerca de los sitios donde son dispuestos o procesados (Sardiñas et al., 2001; Fazzo et al., 2017).

Los métodos disponibles actualmente para el tratamiento o disposición final de los residuos son los tiraderos a cielo abierto, el relleno sanitario, la incineración, el compostaje, la generación de energía y el reciclaje; los más comunes en países de bajo y mediano ingreso son los tiraderos

a cielo abierto y los rellenos sanitarios (Savino, 2015). Los primeros son áreas de suelo en donde se dispone la basura sin ningún control, mientras que los rellenos sanitarios son sitios para disponer la basura, que cuentan con instalaciones diseñadas y operadas como una obra de saneamiento, por lo tanto, poseen elementos de control que permiten reducir externalidades como los riesgos a la salud, seguridad y al ambiente, que pueden presentarse aún después de su clausura (Savino, op. cit.).

Desafortunadamente, la literatura reporta casos de fallas en rellenos sanitarios causantes de fatalidades en países como China (2015) e Indonesia (2005) y de efectos adversos al ambiente (Yang et al., 2017). Por otro lado, los sitios de disposición final de la basura se encuentran entre las principales fuentes de uno de los gases de efecto invernadero, el metano (CH₄), sin embargo, esta situación puede tener efectos positivos para el cambio climático si este gas se recupera y se utiliza como fuente de energía (Savino, 2015). Esto puede lograrse mediante el uso de tecnologías que permitan su recuperación a partir de los residuos, para ello se requiere del conocimiento de las características y composición de la basura (tamaño de partícula, contenido de humedad, poder calorífico y densidad) (Kumar, & Samadder, 2017).

Existen varias alternativas para recuperar el valor de los residuos, por ejemplo, la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés) define como compostaje la mezcla de materia orgánica en descomposición en condiciones aeróbicas que se emplea para mejorar la estructura del suelo y proporcionar nutrientes (Román et al., 2013). Otra forma de valorización es el reciclaje, que permite la recuperación de los materiales a partir de los residuos y su retorno para su reutilización; es apto para los metales, vidrio, plástico y papel; permite reducir el volumen de los residuos; alarga la vida de los materiales y se disminuye el uso de recursos, aunque para ello se requiere de una infraestructura que permita la adecuada separación y recuperación de la basura (CE, 2011). La incineración es un proceso térmico que conduce a la reducción en peso y volumen de los residuos mediante la combustión controlada en presencia de oxígeno, como resultado se reduce el volumen de los residuos hasta en un 90% y se liberan gases contaminantes que deben ser controlados; tiene la ventaja de que el calor generado puede ser aprovechado como fuente de energía (CE, op. cit.).

6.3. Estudios de residuos municipales en Hermosillo

La búsqueda extensiva e intensiva de literatura sobre el tema de residuos en la ciudad de Hermosillo, Sonora, arrojó la información que a continuación se presenta. Otras fuentes de información fueron la consulta en dependencias de los tres niveles de gobierno (federal, estatal y municipal) relacionadas con el tema de residuos.

6.3.1. Residuos Sólidos Urbanos (RSU)

Los RSU generados en la ciudad de Hermosillo son manejados por la Dirección General de Servicios Públicos Municipales (DGSPM), dependencia responsable de la recolección de los residuos domésticos, así como de la limpieza y barrido de calles y alcantarillas. En Hermosillo, actualmente los RSU de la ciudad se depositan en el relleno sanitario principal de Hermosillo, ubicado al norte del municipio, con acceso por la carretera que conduce a la minera Nycó. Dicho relleno sanitario inició operaciones en 1997, y se encuentra a cargo de la empresa TECMED, bajo el esquema de concesión-contrato. El proyecto original consta de 50 hectáreas de superficie disponible en 5 celdas (3 se encuentran selladas) y con capacidad de 3'605,000 m³ con una vida útil proyectada hasta el año 2026 (IDOM, 2017). Según datos de la DGSPM en el 2017 llegaban 670 toneladas diarias de basura a este relleno (Valenzuela, 2018). El diagnóstico realizado por el Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de Residuos de Sonora (PEPGIR) en el 2011 reportó que en promedio cada habitante generaba 0.75 kg de RSU/día y que el relleno sanitario de Hermosillo recibía 800 toneladas diarias (Burgos et al., 2012).

Loera (2005), Pineda y Loera (2006), IDOM (2017) y Burgos y colaboradores (2012) concuerdan en que el manejo de RSU en Sonora se enfoca principalmente en las etapas de recolección, transporte y disposición final, y que al no existir separación, la valorización es nula. La falta de separación de la basura para su aprovechamiento en la ciudad de Hermosillo fue confirmada también por la DGSPM, a saber, se indicó que la única acción relacionada con esta actividad es la presencia de pepenadores en el centro de transferencia que realizan recuperación de algún tipo de materiales (Valenzuela, 2018). Cabe recalcar que en la evaluación realizada por Loera (2005) sobre las condiciones principales que debe reunir el relleno sanitario de Hermosillo, según la normativa aplicable, se encontró

que este cumple con ella, a excepción de que se encuentran pepenadores en el lugar.

En el PEPGIR de Sonora (Burgos et al., 2012) indicaron en su diagnóstico realizado en el año 2011, que el alcance del sistema de recolección de residuos en Hermosillo es insuficiente y no se da cobertura total. Al respecto, la DGSPM informó en 2017 que la cobertura del servicio de recolección de los RSU en la ciudad es de 95% en los hogares y 3% en los contenedores urbanos; se cuenta con 100 rutas de servicio y 300 empleados (Valenzuela, 2018).

6.3.1.1. Condiciones basales en la ciudad respecto a los RSU

La DGSPM informó que la condición y edad de la flota de 72 vehículos de recolección de RSU es variable (6 de ellos prestan servicios en la zona rural y Bahía de Kino) y necesita mejorarse; 65% (47) de estos vehículos tiene una antigüedad de 9-16 años, mientras que 35% (25), entre 1-6 años; 58% (42) requieren de reparación constante por su condición y el resto se reporta en óptimas condiciones (Valenzuela, 2018). Dicho aspecto debe tomarse a consideración, ya que, aunque se están incorporando nuevas rutas, la recolección de basura será aún insuficiente si los vehículos utilizados para dicho fin no se encuentran en buen estado.

En los asentamientos humanos irregulares del municipio (llamados “invasiones”), existe una problemática importante, ya que el servicio de recolección se lleva a cabo en un punto específico donde todos los habitantes de ese lugar tienen la obligación de depositar la basura. No obstante, gran parte de los residentes incumplen con tal mandato, y al no efectuarse la recolección casa por casa, se presenta una acumulación de desperdicios en la zona que significa un foco de contaminación para los mismos habitantes y colonias circundantes, situación a la que debe dársele solución inmediata (Valenzuela, 2018).

Lo mismo ocurre en lotes baldíos, canales, plazas comerciales e, incluso, en lugares particulares y casas abandonadas de la localidad que son invadidas por indigentes y que crean riesgos para la salud e incendios (Valenzuela, 2018). Se reporta que esta situación ya está siendo atendida por la DGSPM desde el 2017 mediante el Operativo Recuperación de Espacio Públicos. De igual forma, en 2016 el gobierno del estado, en colaboración con INFONAVIT, iniciaron un rescate de viviendas abandonadas, acción que podría mitigar parte de esta problemática (GES, 2016).

Por otro lado, en Hermosillo todavía se siguen presentando quemas de residuos de manera ilegal y a veces incontrolada. Según el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) con base al Censo de Población y Vivienda 2010 de INEGI, en Hermosillo se queman 5,230.45 ton/año de residuos domiciliarios (IDOM, 2017). La quema puede hacerse en espacios abiertos, en patios o dentro de tambores metálicos y conduce a la presencia de emisiones al ambiente, conformadas por material particulado (cenizas) y compuestos volátiles tóxicos (dioxinas, arsénico, cadmio, cromo, cobre, plomo, mercurio, hidrocarburos aromáticos policíclicos, anhídrido sulfuro, bifenilos policlorados, etc.) causantes de enfermedades respiratorias y crónicas (Nava-Martínez et al., 2012; Solórzano-Ochoa *et al.*, 2012).

El Departamento de Bomberos del Municipio reporta frecuentemente que la acumulación de grandes cantidades de basura alrededor de la ciudad, en lugares no destinados para tal fin, tiene como resultado la generación de incendios. En comparación con el 2017, en el 2018 se registraron 100 incendios más (723 vs 624 en febrero), de los cuales 482 fueron por zacate y basura (Rentería, 2018).

6.3.1.2. Composición y valorización de RSU del municipio de Hermosillo

En la ciudad existen empresas identificadas como recicladoras, sin embargo, su actividad se limita únicamente a recolectar y a comercializar en el país y el extranjero materiales tales como cartón, papel, plástico, baterías, aluminio, fierro, tarimas (Burgos et al., 2012; Álvarez et al., 2012a) y electrónicos (Álvarez et al., 2012b), por ende, se puede inferir que el reciclaje como tal en la ciudad es prácticamente nulo. La figura 6.2 muestra la composición de los RSU de Hermosillo, según el diagnóstico realizado en el 2011 en el PEPGIR (Burgos et al., 2012), se observa que una fracción importante de elementos como plásticos, papel y cartón puede ser sujeta al proceso de valorización si se realiza una separación efectiva para evitar que se deposite en el relleno sanitario.

Por otro lado, de manera preocupante, se ha observado que en la ciudad los sectores de la gestión de residuos, el residencial y de servicios está mostrando una tendencia hacia la disminución de la sensibilización ambiental, a la inversa de lo que sucede en la industria, que está moderando sus emisiones al ambiente (IDOM, 2017).

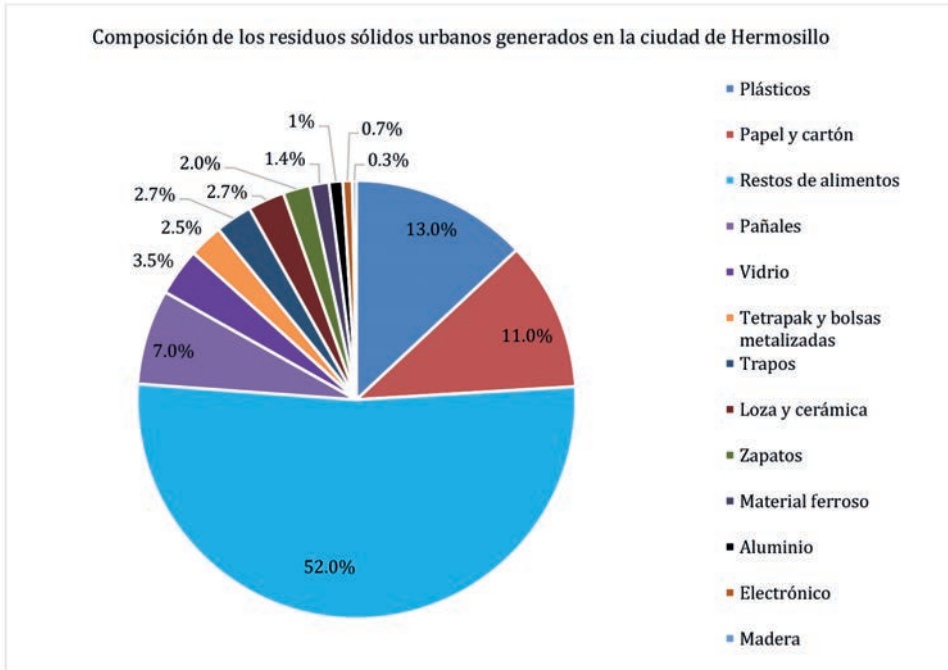


Figura 6.2. Composición de los RSU en Hermosillo, según datos del 2011
Fuente: Tomado de Burgos et al. (2012).

De la misma forma, la fracción orgánica puede ser valorizada al utilizarse para composta y como fuente de energía en la producción de metano (CH₄), reduciendo de esta forma la generación de Gases de Efecto Invernadero (GEI), producto de la descomposición de la basura (Román, 2013). Actualmente, el CH₄ producido en el relleno se elimina por venteo para disminuir el riesgo de incendio en el lugar. No obstante, se está desaprovechando este combustible y contribuyendo con el cambio climático a través de su liberación al ambiente (IDOM, 2017).

Las instituciones de educación de la ciudad se encuentran trabajando en pro de reducir y valorizar la basura. Este aspecto puede verse reflejado en la convocatoria del Programa “Escuela Verde” promovido por CEDES, el cual invita a las escuelas federales, estatales e incorporadas de educación básica en el Estado, a obtener el certificado “Escuela Verde” (CEDES, 2016). Dicho programa tiene el objetivo de “promover acciones integrales de mejoramiento y gestión ambiental, en instituciones de edu-

cación básica, que contribuyan a disminuir el impacto que los RSU tienen sobre el medio ambiente en una situación actual de cambio climático, desarrollando una ciudadanía consciente y responsable de su entorno”. Hoy por hoy, 22 escuelas del municipio forman parte de este programa (Leyva, 2018).

La Universidad de Sonora, principal institución de educación superior en la ciudad y en el estado, cuenta con información sobre la caracterización de residuos en dos áreas del campus Hermosillo (Área 5 y Área 10) (Álvarez et al., 2011; Díaz, 2016). Según estos diagnósticos, se observa que la proporción de los residuos es diferente a la de la ciudad, observada en la figura 12, y que difiere según la época del año y en función del tiempo. En el estudio del 2010 (figura 6.3), se observa menor proporción de plástico, lo cual puede deberse a que este primer estudio se llevó a cabo en marzo, mientras que en el año 2015 se efectuó durante el verano (figura 6.4), cuando las temperaturas cálidas del ambiente demandan un mayor consumo de agua embotellada. La menor presencia de residuos de papel en el estudio del 2015 (figura 6.4), podría deberse a las campañas de reducción de uso de papel promovido por el Plan de Desarrollo Sustentable en la institución desde el 2012 (PDS, 2012) y podría ser un indicador del éxito de campañas de concientización hacia la comunidad universitaria y/o al mayor uso de la tecnología electrónica. Asimismo, en la actualidad se realizan campañas de recolección intensivas al final del semestre escolar, dirigidas a estudiantes y personal universitario, cuyo resultado ha recuperado hasta una tonelada de papel (UNISON, 2018).

6.3.2. Residuos de Manejo Especial (RME)

El diagnóstico realizado en el PEPGIR de Sonora (Burgos et al., 2012) reporta estos residuos y presenta limitaciones en cuanto a la cantidad y especificidad de la información obtenida. La única fuente de información de RME disponible para ese estudio fueron las cédulas de operación anual de las empresas registradas ante CEDES.

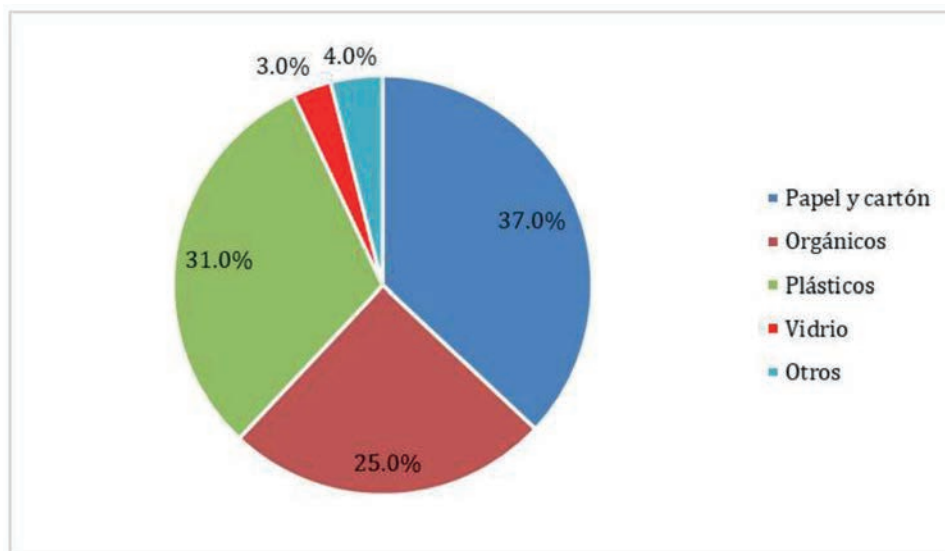


Figura 6.3. Composición de los RSU en el área 5 de la UNISON, según datos del 2010 (marzo)

Fuente: Álvarez et al. (2011).

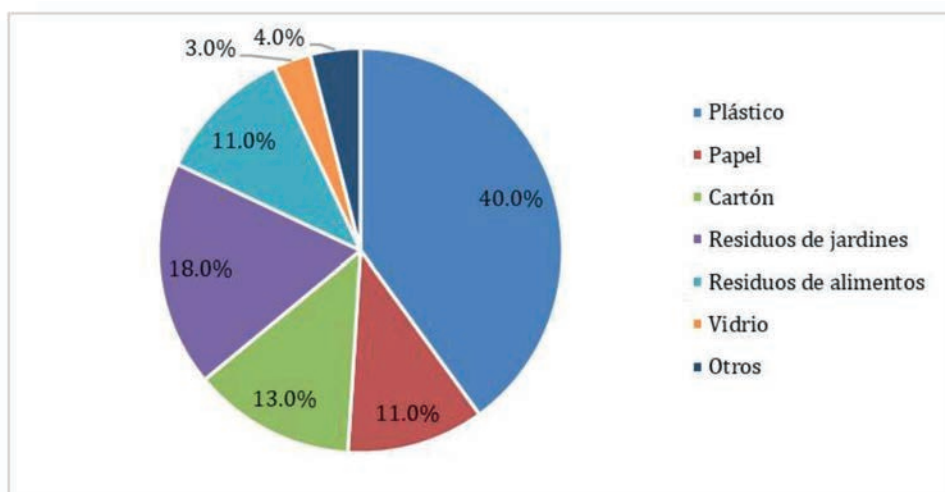


Figura 6.4. Composición de los RSU en el área 10 de la UNISON, según datos del 2015 (agosto-noviembre)

Fuente: Díaz (2016).

El diagnóstico de Burgos y compañeros (2012) muestra que la composición de los RME varía año con año, según datos de 305 empresas en el estado, registradas en el periodo 2009-2011 (de las cuales 117 se ubican en Hermosillo); esta variación se atribuye a cambios en los sistemas de producción y operación de las empresas. Con base en información de los años 2009 y 2010, se sabe que 82.9% y 74.5% de estos residuos, respectivamente, correspondieron a RME, aunque 2.9% y 3.8% se clasificaron erróneamente como RSU, en tanto una fracción menor a 1% correspondió a residuos peligrosos biológico-infecciosos y 14.2% y 21.7%, respectivamente, fueron clasificados como RP (Burgos et al., 2012). Este estudio también identificó la generación de RP reportados como RME, hecho que crea confusión y propicia su manejo inadecuado, además de la presencia de riesgos para quien los maneja y para el ambiente. Cabe enfatizar que estos datos no son específicos para la ciudad de Hermosillo, pero sí muestran un panorama al respecto.

La UNISON también registra esfuerzos en cuanto al manejo de RME. El programa de reciclaje de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) inició en el año 2010, en un esfuerzo colaborativo de la Asociación de Profesionales en Seguridad Ambiental, A. C. (APSA), UNISON y la recicladora TOM-REFECO, al principio, y después con Grupo México, CEDES, DIF Estatal y la Federación del Empresariado Sonorense (FESAC) (Álvarez et al., 2012b). La dinámica de este programa consiste en realizar jornadas sabatinas dos o tres veces al año en puntos fijos del municipio durante todo el año con el fin de recolectar y acopiar RAEE de los hogares de Hermosillo. Los materiales recuperados a partir de los desechos antes mencionados, conformados principalmente por plástico, metales pesados tóxicos, entre otros, se comercializan en el país o en el extranjero y el beneficio de la venta de los materiales se destina a obras de caridad canalizadas a través de diferentes instituciones de beneficencia. La cantidad de RAEE recolectada en este programa es variable (1.5-44.0 toneladas/año) y responde según se promoció el evento en los medios de comunicación. Con este tipo de residuos hay mucho por hacer; en el 2006, el INECC calculó una generación per cápita de 2.52-4.88 kg/hab/año para los estados del Noroeste y estimó que 90% de este tipo de residuos se mantiene almacenado en los hogares o lugares de trabajo (Gutiérrez et al., 2012).

El INECC reporta que en Sonora menos de 5% de los residuos de la construcción se encuentran compuestos por materiales que pueden ser

aprovechados y reintegrados a la cadena productiva (Gutiérrez et al., 2012). Miranda y colaboradores (2016) desarrollaron información sobre este tipo de residuos en Hermosillo, argumentando que la alta demanda de obra civil es más que suficiente para que se estén generando cantidades considerables de residuos, consistentes, principalmente, en vegetación y suelo, acero, concreto, madera, entre otros, a partir de nuevas obras y de la demolición. Atribuyen que la carencia de datos sobre la cantidad de generación de este sector en la ciudad se debe en parte a que las compañías constructoras y/o contratistas no reportan los residuos de la construcción, además de que los vierten en áreas donde se requiere rellenar y/o nivelar terrenos o los depositan directamente en tiraderos a cielo abierto. Agregan que en Hermosillo en el año 2005 se tenían contabilizados 25 de estos sitios y que el volumen de reciclado de residuos apenas era de 4.7%, según el Plan de Desarrollo Municipal 2007. Por su parte, el programa de desarrollo metropolitano de Hermosillo reporta la presencia de dos “hoyos” o escombreras para el depósito de restos de la construcción: uno al final del blvr. Lázaro Cárdenas y otro en la colonia Altares.

Se estima que en la construcción de 12 viviendas de interés social (46.108 m²), los residuos y cantidades que se generan son aproximadamente de 16.87 m² de muro de block, 14.16 m² de piso de concreto de 10 cm de espesor, 99.20 m² de enjarre grueso de 1.50 cm de espesor y 1.05 rollos de poliducto naranja. Tales materiales económicamente representan, según el mercado de ese momento, el costo directo de aproximadamente \$5,847.5 (Miranda et al., 2016).

6.3.2.1. Descacharre y llantas

Un avance en la mejora para atender el problema de acumulación de basura en la ciudad, con mayor incidencia en los RME, es el evento llamado “descacharre” que estuvo implementando la DGSPM, donde se reciben colchones, muebles, madera, calzado, maleza, vidrio, entre otros, que por su volumen no son recogidos por los camiones de la ruta de servicio de recolección de basura de la ciudad; son recolectados en puntos fijos, previamente establecidos (Valenzuela, 2018). En estos eventos también se ha recibido basura que está clasificada como residuo peligroso (por ejemplo, pilas, recipientes vacíos de pinturas, etc.), de los cuales no se tiene información sobre su cantidad (Valenzuela, op. cit.). Este hecho es un ejemplo de la necesidad de implementar un programa para los RP, específico y adecuado, debido a la alta complejidad y peligrosidad de este

tipo de desechos que son producidos en los hogares y por los pequeños generadores y microgeneradores ubicados en la ciudad. La LGPGIR define a los primeros como aquellos que generan una cantidad mayor a 400 kg y menor a 10 ton en peso bruto total de residuos al año, o su equivalente en otra unidad de medida, mientras que los segundos son aquellos establecimientos industriales, comerciales o de servicios que generan una cantidad de hasta 400 kg de residuos peligrosos al año, o su equivalente en otra unidad de medida (DOF, 2003).

En cuanto a llantas de desecho, la Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza (COCEF) menciona que, como regla aceptada, la generación de llantas de desecho en países industrializados es aproximadamente de una llanta de automóvil por habitante al año o su equivalente en peso (9 kg). Se estima que en Sonora existían en 2007, aproximadamente 340,000 llantas almacenadas en sitios controlados y que 91% se abandona o utiliza sin control (Gutiérrez et al., 2012). El “Llantatón” es un programa iniciado en junio de 2006 por la DGSPM, donde en fechas establecidas se reciben llantas en desuso para evitar que se convierten en criaderos de mosquitos transmisores de dengue, zika y chikungunya; según personal de la DGSPM, el destino final de las llantas es un horno cementero de la localidad.

6.3.3. Residuos Peligrosos (RP)

La respuesta a la solicitud al portal de transparencia de la SEMARNAT sobre el listado del número y de generadores de residuos peligrosos (RP) existentes en la ciudad, así como cantidad y tipo de residuos generados, no permitió obtener información específica para el presente estudio, puesto que la información proporcionada incluyó datos agregados y estimaciones para el estado de Sonora.

La búsqueda en la literatura reveló información sobre composición general y volumen de generación de residuos peligrosos procedentes de la industria maquiladora de electrónicos, publicación de medios informativos (periódico), talleres mecánicos y carrocías, laboratorios de instituciones de educación superior (Universidad de Sonora), imprentas offset, hospitales y laboratorios clínicos ubicados dentro de la ciudad. Así también se identificaron algunas publicaciones sobre el confinamiento controlado de residuos peligrosos CYTRAR y documentos que resaltan la necesidad de implementar programas para el manejo de los RP generados en la ciudad.

6.3.3.1. Necesidad de una gestión de RP municipales

Burgos y Pérez (2002) resaltaron en su estudio la necesidad de realizar un diagnóstico de RP generados en los hogares y una propuesta preliminar para su gestión, indicando la importancia de establecer convenios entre los tres niveles de gobierno que permitan atender esta problemática. Estos autores también incluyen los requerimientos de este programa e identifican las fortalezas con que, en ese entonces, contaba la ciudad: la presencia de grupos ambientalistas de apoyo, marco regulatorio y una incipiente conciencia social.

Muñoz y García (2000) reportan un pequeño panorama de los residuos que generan dos imprentas de Hermosillo debido al proceso de impresión tipo offset; la composición de estos residuos incluye desechos de tintes y solventes inflamables, trapos y estopas impregnadas de estas sustancias, además de los contenedores de las mismas. En estudios realizados por Velázquez y colaboradores (2006, 2014) en maquiladoras de electrónicos ubicadas en la ciudad, se indica que la gestión de residuos podría ser más sustentable mediante la implementación de programas de producción más limpia y de reducción de uso de tóxicos para la disminución de los residuos en general, pues el control que se tiene sobre los residuos es insuficiente.

Investigaciones realizadas por Velázquez y compañeros (2008), así como Munguía y colaboradores (2010) en 41 carrocías de Hermosillo (1-12 empleados) y en 6 de sus proveedores de materia prima, reveló que en 73% de estos establecimientos se generan metales pesados y solventes residuales (0-586 L/año) que contienen isocianatos y otros compuestos volátiles como cloruro de metileno; por su parte, la pintura líquida es depositada en el drenaje o suelo. Asimismo, carecen de registros sobre la cantidad de residuos sólidos que, en 85% de los casos, se dispone a través de los servicios de recolección de basura proporcionados por el municipio. El 43% de los vecinos (15/35) se quedó por el olor a productos químicos y el ruido que generan estos talleres. Los proveedores de materia prima reportaron, en su mayoría, los mismos métodos de eliminación para solventes residuales (83%) (3775 L, cantidad total) y residuos sólidos (67%). El 64% de los responsables de los talleres expresaron desconocer el marco normativo sobre ambiente y salud ocupacional que les aplica, pero manifestaron su disposición de participar en un programa de producción más limpia y prevención de la contaminación.

Por lo anterior, existe la posibilidad de que algunos desechos que se eliminan en la basura municipal de estos generadores sean RP porque no se conoce su composición. Si bien es cierto que se trata de pequeños volúmenes, el impacto total de todos ellos en conjunto puede ser significativo. Es importante, entonces, que las empresas ubicadas en la ciudad gestionen adecuadamente sus residuos para evitar impactos adversos para la salud y ambiente que deterioren la calidad de vida y bienestar de las comunidades vecinas y el ambiente en general.

Otras investigaciones realizadas en hospitales de Hermosillo han mostrado que en gran parte de estos se llevan a cabo prácticas deficientes relacionadas con la identificación y control, tanto de insumos químicos como de RP (Arce-Corrales et al., 2014; Estrada, 2013; Ríos-Beltrán, 2017; Terán-Samaniego, 2014; Tapia-Hernández, 2013). Aunque se ha avanzado con inventarios de fuentes de mercurio en hospitales de la ciudad y en prácticas de reducción de este tóxico en dichos sitios (Moreno, 2010; Loustaunau, 2012; Estrella, 2013), es importante mencionar que aún existen diferentes fuentes de mercurio y otras sustancias peligrosas que se encuentran presentes en los residuos de los centros de atención a la salud y que deben recibir un manejo adecuado y de un análisis que permita determinar su inclusión en programas encaminados a reducir o eliminar su uso (Arce et al., 2014).

Asimismo, con respecto a los residuos peligrosos biológico-infecciosos, González (1998) reporta discrepancias entre las estadísticas de generación en hospitales de Sonora, ya que mientras la Secretaría de Salud reportó 4.2 kg/cama/día, el INE señalaba 6.5 kg/cama/día para el mismo año. La autora recomienda un fideicomiso para la creación de un almacén temporal y de un incinerador, además, señala deficiencias en el marco jurídico nacional como principal causa de este problema.

6.3.3.2. Confinamiento de Residuos Peligrosos (RP) CYTRAR

El confinamiento de residuos peligrosos conocido como CYTRAR, S. A. de C. V., localizado al sur de la ciudad de Hermosillo (Km 244 + 800 Carrera Internacional No. 15 Guaymas-Hermosillo) establecido en 1984, fue operado inicialmente por la empresa Ford Motor Company hasta 1988, posteriormente, por el gobierno del estado de 1988 a 1993 (Duarte-Tagles, 2003; Chávez, 2005) y en 1994 fue concesionado a un particular. Dentro de sus instalaciones contaba con dos celdas con capa-

cidad para confinar 0.5 millones de m³ de residuos peligrosos (Duarte-Tagles, 2003).

CYTRAR cerró sus instalaciones en 1998 después de la presión de un grupo de ciudades y miembros de ONG iniciada en 1997 y luego de la negativa de la SEMARNAT para renovar su licencia de funcionamiento, argumentando que había incumplimiento en puntos de la licencia otorgada (ampliación de celdas sin autorización y disposición deficiente de RP) su cierre fue ordenado en el 2001 (Velázquez-García, 2009).

Sobre este confinamiento, Duarte-Tagles (2003) cuestiona el estado de los residuos depositados en CYTRAR luego de 5 años del cierre de operaciones de este confinamiento. Al respecto, Chávez (2005) realizó un análisis preliminar de riesgos del confinamiento, pues al ser clausurado el lugar, quedó una celda abierta, cuya superficie contenía altas concentraciones de metales pesados (Pb y Cd). Se identificó el Pb como el contaminante más importante a evaluar; mediante modelación se determinó que la única ruta de exposición al humano de esta fuente, era por medio del polvo proveniente de este lugar, que podía transportarse hasta una distancia de 1,700 m, pero que no representaba una amenaza, puesto que el asentamiento humano más cercano se ubicaba entonces a 3,000 m de distancia (Chávez, 2005). Un estudio de evaluación de riesgo ambiental realizado por la Universidad de Sonora y el gobierno del estado en 2007, determinó la ausencia de contaminación en el subsuelo y acuíferos someros y confirmó que la transferencia de contaminantes era factible solo por vía eólica (Mendoza, 2018).

La SEMARNAP y la CCA determinaron realizar la remediación del sitio. Durante 2004 y 2005 se procedió a las acciones de remediación, al retirar 2,800 ton de residuos que se encontraban a la intemperie en CYTRAR y que fueron dispuestos en el confinamiento controlado de Minas N. L. (PNRSC, 2014). Posteriormente, un estudio de caracterización del sitio, llevado a cabo por INE-CENICA, reportó la presencia de arsénico en este lugar como contaminante de origen natural. Por lo anterior, fue necesario efectuar el cierre técnico de las celdas 1 y 2 realizado en el año 2009, mediante un recubrimiento superior con un sistema multibarrera (6 capas de grava, 7 de arcilla), tres recubrimientos (membrana geotextil, geomembrana y geotextil) y recubrimiento de concreto hidráulico, además de sistemas auxiliares. Se construyeron sistemas de monitoreo de emisiones, se clausuró la laguna de lixiviados y fosas, se construyó un

canal para agua pluvial y se colocó una malla ciclónica perimetral a las celdas (SEMARNAT, 2011). El Programa Nacional de Remediación de Sitios Contaminados, posteriormente, reportó que se iniciaría el proceso de desincorporación del predio a favor del municipio de Hermosillo (PN-RSC, 2014)

Las investigaciones mencionadas muestran evidencia de la generación de RP, empero, si en la ciudad no se cuenta con un programa para el manejo de estos y el CYTRAR cerró sus instalaciones desde hace dos décadas, entonces no es de extrañar que los pequeños generadores y microgeneradores (hogares, pequeñas empresas productoras o de servicio) los dispongan en el drenaje sanitario de la ciudad, como basura común a través de los servicios del municipio y que lleguen al relleno sanitario, terrenos baldíos en la ciudad, patios o cocheras de hogares o talleres, o bien, en brechas o en caminos vecinales de poca afluencia y en tiraderos a cielo abierto (Duarte-Tagles, 2003).

6.3.3.3. Papel de las instituciones educativas en materia de RP

Los estudios reportados por Dosten (2001), Álvarez y colaboradores (2003, 2011), Espinoza (2004), García (2004), Waldo y García (2004), Reyes (2010), Quintana (2015) y Obregón (2015), ofrecen un panorama de la variada y compleja composición de RP generados por laboratorios académicos y de investigación.

En la Universidad de Sonora se reporta la existencia y avances de un programa establecido por el generador para atender estos residuos, por lo tanto, se tiene conocimiento sobre su composición y volumen también. No obstante, estos autores reconocen que es necesario fortalecer dichos esfuerzos e impulsar la reducción de uso de tóxicos en sus prácticas académicas y de investigación. Más recientemente y también en el sector educativo, un estudio realizado por Flores (2017) en 23 escuelas preparatorias privadas incorporadas a la Universidad de Sonora, reportó que en la mayoría se carece de control de los RP generados en laboratorios de estas instituciones.

6.4. Conclusiones

Es de notar la inconsistencia de datos sobre la cantidad total de RSU generados en Hermosillo que llegan actualmente al relleno sanitario. Al

observar la información proporcionada por la DGSPM, se nota que esta es menor que la que se reportó en el 2011 en el Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (PEPGIR) de Sonora. Aun cuando la DGSPM indicó que la demanda del servicio de basura ha aumentado y, según datos de INEGI, la población se incrementó de 701,000 en 2010 a 884,273 en 2017 (crecimiento anual aproximado 2.3%). También fue notoria la inconsistencia de datos en cuanto a la cantidad de RSU recolectada por INEGI, ya que en el censo del 2010 se reportaron 600 ton como promedio diario de RSU, mientras que en el 2015 fueron 570 toneladas.

La acumulación de basura en tiraderos a cielo abierto y espacios públicos, las deficiencias en la recolección de basura, la quema incontrolada y la presencia de pepenadores en tiraderos y relleno sanitario sigue representando riesgos a la población por los efectos nocivos que conllevan los residuos, tanto para la salud como para el ambiente. A ello hay que agregar la carencia de programas para reducir el volumen de la basura, la falta de separación, reciclaje y valorización de los residuos, que no abona a disminuir esta problemática, y el necesario aumento de vida útil del relleno sanitario. Este estudio también concuerda con lo que Loera (2005) reportó en relación con RSU en Hermosillo, es decir, que no solamente la disponibilidad de recursos y la carencia de programas, objetivos y metas e indicadores establecidos impactan en esta gestión, sino que deben considerarse aspectos propios de cada municipio, condiciones climatológicas y topografía, condiciones de maquinaria y equipo de trabajo. Así también, es necesaria una mayor aplicación de la ley por parte de los tres niveles de gobierno y la participación ciudadana contemplada por la legislación a través de una mayor concientización y educación de la población.

De igual forma, es importante reconocer que la inadecuada gestión de los residuos por parte de los generadores de RP, se puede deber a la falta de conocimiento, o interés de los mismos generadores en temas de residuos, especialmente cuando estos son micro y pequeños generadores. Por tales motivos, los RP generados por dichos establecimientos con frecuencia terminan en rellenos sanitarios de la ciudad o en el drenaje.

Cuando los RP se disponen de manera incontrolada e incorrecta aumenta el riesgo de que se presenten problemas de salud en la población, derivados de exposición a contaminantes, más aun cuando la población no está consciente e informada de la presencia de sustancias que represen-

tan un riesgo para su salud y el ambiente en los productos de consumo, pues no toma las medidas necesarias para evitar el contacto, disminuir la exposición y evitar su eliminación en la basura común, baldíos, caminos, ríos, tiraderos clandestinos, sitios abandonados o drenaje de la ciudad.

Por ello, es indispensable que los tres niveles de gobierno establezcan acuerdos, ya contemplados en la legislación ambiental, para determinar la responsabilidad y participación de cada uno de ellos en un programa para la gestión de residuos peligrosos para la ciudad. En dicho contexto, se desprende que es necesario realizar un estudio formal de la gestión de los residuos en la ciudad, donde se actualicen los datos del diagnóstico de la gestión de RSU y se genere información de aquellos residuos en los que no existe información o esta es escasa y ambigua, ya sea en forma de inventarios de generadores o de la cantidad y composición de los RME y RP, así como de la infraestructura disponible y procedimientos en esta gestión. Con ello se identificarán oportunidades para la mejora de los servicios de recolección de residuos en la ciudad, la valorización de residuos y la creación de programas de producción más limpia y reducción de uso de tóxicos en beneficio del ambiente, de la economía y del bienestar social en la ciudad de Hermosillo.

6.5. Bibliografía

- Álvarez, C. R., Arce, M. E., Tapia, M. I., Castellón, L. G., & Herrera, S. (2003). Teaching safety at the University of Sonora. *Chemical health and safety*, 10(5), 5-7. Recuperado de [https://doi.org/10.1016/S1074-9098\(03\)00091-1](https://doi.org/10.1016/S1074-9098(03)00091-1)
- Álvarez, C. R., Cruz, E., Arce, M. E., Brassea, J. L., & Esquer, J. (2011). Manejo Integral de Residuos Sólidos en la Universidad de Sonora Unidad Regional Centro (UNISON-URC). *EPISTEMUS*, 11, 28-34.
- Álvarez, C. R., & Duarte-Tagles, H. (2017). Gestión racional de las sustancias químicas y sus residuos: elemento clave para la sustentabilidad en las ciudades. En A. Ojeda de la Cruz, & J. Treviño (Coord.). *Asuntos Urbanos en México: Enfoque por Estudios de Caso* (pp. 245-276). México: UNISON-UANL-AM Editores.
- Álvarez, C. R., Liñeiro, H., Esquer, J., Velázquez, L. E., Munguía, N. E., García, M., & Barajas, A. (2012a). Sustentabilidad del programa

- “Hago la Diferencia Reciclando del Estado de Sonora: Papel y Cartón”. *Iberoamerican Journal of Project Management*, 3(2). Recuperado de <http://www.ijopm.org/index.php/IJOPM/article/view/99/120>
- Álvarez, C. R., Torres, C. M., Pérez, R., Velázquez, L. E., Munguía, N. E., García, M., & Barajas, A. (2012b). Sustentabilidad del programa “Hago la Diferencia Reciclando del Estado de Sonora: Los Residuos Eléctricos y Electrónicos”. *Iberoamerican Journal of Project Management*, 3(2). Recuperado de <http://www.ijopm.org/index.php/IJOPM/article/view/98/119>
- Arce-Corrales, M. E., Gómez-Álvarez, A., & Álvarez-Chávez, C. R. (2014). Chemical Substances Sources Characterization in Support of the Health Sector’s Sustainability Quality in Sonora, México. *Journal of Cleaner Production*, 64(1), 457-463.
- Bisschop, L. (2016). Illegal trade in hazardous waste. En L. Elliot, & W. Schaedla (Eds.), *Handbook of Transnational Environmental Crime* (pp. 190-211). UK: Ed. Edward Elgar.
- Burgos, M., & Pérez, G. (2002). *Propuesta para el desarrollo de un Sistema de Gestión de Residuos Domiciliarios para la Ciudad de Hermosillo, Sonora, México* (Tesis de Especialidad en Desarrollo Sustentable). Hermosillo, Sonora: Departamento de Ingeniería Industrial. Universidad de Sonora.
- Burgos, M., Gómez, A. I., Gurrola, M., Gutiérrez, M. A., Pérez, G., & Villarruel, L. (2012). *Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (PEPGIR) de Sonora*. CEDES-CESUES. Hermosillo, Sonora, México.
- CE. (2011). Mejores Técnicas Disponibles de referencia europea para incineración de residuos. Documento BREF. Comisión Europea. Madrid, España. Recuperado de http://www.prtr-es.es/Data/images/MTD_Incineracion_residuos_ES.pdf
- CEDES. (2016). Convocatoria Programa Escuela Verde. Recuperado de <https://www.cedes.gob.mx/index.php/component/sppagebuilder/?view=page&id=26>
- Chávez, C. (2005). *Evaluación preliminar de riesgos del CYTRAR* (Tesis de maestría en Ciencias de la Ingeniería). Hermosillo, Sonora: Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Sonora.

- Díaz, A. M. (2016). *Programa cero en la Universidad de Sonora* (Tesis de maestría en Sustentabilidad). Hermosillo, Sonora: Departamento de Ingeniería Industrial. Universidad de Sonora.
- Dobbs, R., Remes, J., Manyika, J., Roxburgh, C., & Smit, S. (2012). *Urban world: cities and the rise of the consuming class*. Sitio internet. Recuperado de <http://www.mckinsey.com/global-themes/urbanization/urban-world-cities-and-the-rise-of-the-consuming-class>
- DOF. (2003). *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos*. Diario Oficial de la Federación. Recuperado de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263_220515.pdf
- _____. (2006). NOM-052-SEMARNAT-2005. Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos. Sitio internet. Recuperado de <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/PPD02/DO2282.pdf>
- _____. (2013). NOM-161-SEMARMAT-2011. Que establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo. Sitio internet. Recuperado de <http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/6633/1/nom-161-semarnat-2011.pdf>
- Dosten, J. A. (2001). *Disposición final de los residuos químicos almacenados en tres departamentos de la Universidad de Sonora* (Tesis de licenciatura). Hermosillo, Sonora: Departamento de Ciencias Químico-Biológicas. Universidad de Sonora.
- Duarte-Tagles, H. F. (2003). CYTRAR: Detrás de los residuos peligrosos en Sonora. *Acta Universitaria*, 13(2), 14-21.
- Espinoza, G. (2004). *Caracterización Físico-Química, Tratamiento y Disposición Final de los Residuos Químicos Desconocidos Generados en los Laboratorios del Departamento de Ciencias Químico-Biológicas e Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora* (Tesis de licenciatura). Hermosillo, Sonora: Departamento de Ciencias Químico-Biológicas. Universidad de Sonora.
- Estrella, Y. Z. (2013). *Opciones para la eliminación de mercurio en tres hospitales de Hermosillo, Sonora* (Tesis de licenciatura). Hermosillo, Sonora: Departamento de Ciencias Químico-Biológicas. Universidad de Sonora.

- Estrada, J. A. (2013). *Modelo de reducción de riesgos a la salud y al medio ambiente derivados del uso de materiales químicos* (Tesina de Especialidad en Desarrollo Sustentable). Hermosillo, Sonora: Departamento de Ingeniería Industrial. Universidad de Sonora.
- Fazzo, L., Minichilli, F., Santoro, M., Ceccarini, A., Della-Seta, M., Bianchi, F., Comba, P., & Martuzzi, M. (2017). Hazardous waste and health impact: a systematic review of the scientific literature. *Environmental Health*, 16(107). DOI 10.1186/s12940-017-0311-8.
- Flores, A. (2017). *Gestión de la salud, seguridad y protección al ambiente en bachilleratos de Sonora* (Tesis de maestría en Sustentabilidad). Hermosillo, Sonora: Departamento de Ingeniería Industrial. Universidad de Sonora.
- García, J. F. (2004). *Evaluación de los Tratamientos In Situ Aplicados para la Desactivación de los Residuos Químicos Conteniendo Iones Cromo, Plata y Cianuro en la Universidad de Sonora* (Tesis de licenciatura). Hermosillo, Sonora: Departamento de Ciencias Químico-Biológicas. Universidad de Sonora.
- GES. (2016). Sala de Prensa del Gobierno del Estado de Sonora. Sitio internet. Recuperado de <https://www.sonora.gob.mx/noticias/noticias/119-noticias-destacadas/1335-buscan-gobernadora-pavlovich-y-director-de-infonavit-rescate-de-viviendas-abandonadas.html>
- González, B. H. (1998). *Manejo de residuos hospitalarios en el Estado de Sonora* (Tesis de licenciatura). Hermosillo, Sonora: Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Sonora.
- Gutiérrez, V. J., Ramírez, I. F., Aguilar, G. E., & Medina, A. (2012). *Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos* (201 pp.). México: IN-ECC-SEMARNAT. Recuperado de <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/CD002433.pdf>
- Hoornweg, D., & Bhada-Tata, P. (2012). *What a waste: a global review of solid waste management*. Sitio internet. Recuperado de: <http://go.worldbank.org/BCQEP0TMOO>
- IDOM. (2017). Ciudades emergentes y sostenibles. Informe final. Módulo 1. Estudio de mitigación de cambio climático. Hermosillo, Sonora: Banco Interamericano de Desarrollo. Hermosillo.

- Kumar, A., & Samadder, S. R. (2017). A review on technological options of waste to energy for effective management of municipal solid waste. *Waste Management*, 69, 407-422. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.08.046>
- Leyva, E. (2018). Comunicación personal. Coordinadora técnica de la Dirección General de Cambio Climático y Promoción Ambiental de la Comisión de Ecología y Desarrollo Sustentable del Estado de Sonora (CEDES). 12 de febrero de 2018.
- Loera, E. (2005). *La gestión integral de los residuos sólidos en Sonora: un estudio comparativo del desempeño de los municipios de Cajeme, Hermosillo y Nogales* (Tesis de maestría). Hermosillo, Sonora: El Colegio de Sonora.
- Loustaunau, A. (2012). *Asistencia Técnica Colaborativa para la Eliminación de Mercurio en Dos Hospitales de Sonora* (Tesina de Especialidad en Desarrollo Sustentable). Hermosillo, Sonora: Departamento de Ingeniería Industrial. Universidad de Sonora.
- Mendoza, L. (2018). Comunicación personal. Departamento de manejo integral de contaminantes, Unidad de Gestión Ambiental. SEMAR-NAT-Sonora.
- Miranda, I., Borbón, A. C., García, J. F., Quintana, J., Morales, E., & Rivera, G. (2016). Estudio de generación de residuos especiales en la construcción del Fraccionamiento Portal de Romanza en Hermosillo, Sonora. *EPISTEMUS*, 10, 74-80.
- Moreno, M. (2010). *Prevención de la contaminación por mercurio (Hg): Rumbo a un hospital sustentable en Hermosillo, Son.* (Tesina de Especialidad en Desarrollo Sustentable). Hermosillo, Sonora: Departamento de Ingeniería Industrial. Universidad de Sonora.
- Munguía, N., Zavala, A., Marín, A., Moure-Eraso, R., & Velázquez, L. (2010). Identifying pollution prevention opportunities in the Mexican auto refinishing industry. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 21(3), 324-335.
- Muñoz, S., & García, G. (2000). *Diagnóstico y elaboración de un plan para la prevención de la contaminación y riesgos a la salud en dos imprentas de Hermosillo, Son.* (Tesis de Licenciatura). Hermosillo, Sonora: Departamento de Ciencias Químico-Biológicas. Universidad de Sonora.
- Nava-Martínez, E. C., Flores-García, E., Espinoza-Gómez, H., & Waki-da, F. T. (2012). Heavy metals pollution in the soil of an irregular urban

- settlement built on a former dumpsite in the city of Tijuana, Mexico *Environ Earth Sci*, 66(4), 239-1245. Recuperado de <https://doi.org/10.1007/s12665-011-1335-y>
- Obregón, J. (2015). *Gestión Integral y Sustentable de los Residuos Peligrosos en la Universidad de Sonora* (Tesina de Especialidad en Desarrollo Sustentable). Hermosillo, Sonora: Departamento de Ingeniería Industrial. Universidad de Sonora.
- ONU. (2016). Desarrollo Sostenible. Sitio internet. Recuperado de <http://www.un.org/es/ga/president/65/issues/sustdev.shtml>
- PDS. (2012). Plan de desarrollo sustentable de la Universidad de Sonora. Recuperado de <http://www.sustentabilidad.uson.mx/docs/PlandeDesarrolloSustentableUniversidaddeSonoraSep20123.pdf>
- Pineda, N., & Loera, E. (2006). Bien recolectada pero mal tratada. El manejo municipal de la basura en Ciudad Obregón, Hermosillo y Nogales, Sonora. *Estudios Sociales*, 16(30), 168-93.
- PNRSC. (2014). Programa Nacional de Remediación de Sitios Contaminados (p. 68). SEMARNAT. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/387622/Programa_Nacional_Remediacion_Sitios_Contaminados.pdf
- Quintana, M. I. (2015). *Gestión sustentable de materiales y residuos peligrosos en la Universidad de Sonora* (Tesina de Especialidad en Desarrollo Sustentable). Hermosillo, Sonora: Departamento de Ingeniería Industrial. Universidad de Sonora.
- Rentería, R. (2018). *Han aumentado los incendios en Hermosillo: Bomberos*. Sitio internet. Recuperado de <http://centralinformativa.tv/2018/02/aumentado-los-incendios-hermosillo-bomberos/>
- Reyes, B. L. (2010). *Evaluación de la Producción de Residuos con Iones de Metales Pesados Generados en la Unidad Centro de la Universidad de Sonora* (Tesis de Licenciatura). Hermosillo, Sonora: Departamento de Ciencias Químico-Biológicas. Universidad de Sonora.
- Ríos-Beltrán, S. (2017). *Peligrosidad de sustancias utilizadas en el laboratorio de diagnóstico clínico* (Tesis de licenciatura). Hermosillo, Sonora: Departamento de Ciencias Químico-Biológicas. Universidad de Sonora.
- Román, P., Martínez, M. M., & Pantoja, A. (2013). *Manual de Compostaje del Agricultor. Experiencias en América Latina*. Santiago de Chile: Organi-

- zación de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>
- Sardiñas, O., Trujillo, C., García, M., & Fernández, M. (2001). Evaluación de riesgos para la salud por exposición a residuos peligrosos. *Revista Cubana Higiene y Epidemiología*, 39(2), 144-6.
- Savino, A. (2015). *Waste Management and Climate Change*. Bariloche, Argentina: CTCN Training Sessions on Climate Technologies..
- SEMARNAT. (2011). *Informe histórico-técnico de la gestión del caso exitoso de la remediación en el sitio del ex confinamiento de residuos peligrosos de CYTRAR en Hermosillo, Sonora* (157 pp.). México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Solórzano-Ochoa, G., De la Rosa, D. A., Maiz-Larralde, P., Gullett, B. K., Tabor, D., Touati, A., Wyrzykowska-Ceradini, B., Fiedler, H., Abel, T., & Carroll, W. F. (2012). Open burning of household waste: Effect of experimental condition on combustion quality and emission of PCDD, PCDF and PCB. *Chemosphere*, 87(9), 1003-1008.
- Tapia-Hernández, J. A. (2013). *Plan para el manejo de residuos de mercurio (Hg): hacia un hospital sustentable en el estado de Sonora* (Tesina de Especialidad en Desarrollo Sustentable). Hermosillo, Sonora: Departamento de Ingeniería Industrial. Universidad de Sonora.
- Terán-Samaniego, K. (2014). *Manejo sustentable de las sustancias químicas en el Hospital Infantil del Estado de Sonora* (Tesina de Especialidad en Desarrollo Sustentable). Hermosillo, Sonora: Departamento de Ingeniería Industrial. Universidad de Sonora.
- UNEP. (2013). City-level decoupling. Urban resources flows and the governance of infrastructure transitions. Sitio internet. Recuperado de <http://www.unep.org/resourcepanel/portals/24102/Decoupling/City-Level-Decoupling-Summary.pdf>
- United Nations. (2014). Urban Population at Mid-Year by Major Area, Region and Country, 1950-2050. World Urbanization Prospects: 2014 Revision. United Nations. Recuperado de <https://esa.un.org/unpd/wup/Publications/Files/WUP2014-Highlights.pdf>
- UNISON. (2018). *Una tonelada de papel se obtuvo en la primera Jornada de reciclaje*. Sitio internet. Recuperado de <http://www.sustentabilidad.uson.mx/noticias.php?noti=ver&do=85>

- Valenzuela, G. (2018). Comunicación personal. Director de inspección en la Dirección General de Servicios Públicos Municipales. H. Ayuntamiento de Hermosillo, Sonora. México.
- Velázquez-García, M. A. (2009). *Las luchas verdes. Los movimientos ambientalistas de Tepoztlán, Morelos, y el Cytrar en Hermosillo, Sonora* (543 pp.). México: El Colegio de Sonora.
- Velázquez, L., Bello, D., Munguía, N., Zavala, A., Marín, A., & Moure-Eraso, R. (2008). A Survey of Environmental and Occupational Work Practices in the Automotive Refinishing Industry of a Developing Country: Sonora, Mexico. *International Journal of Occupational and Environmental Health*, 14(2), 104-111.
- Velázquez, L., Munguía, N., Navarrete, M. A., & Zavala, A. (2006). An overview of sustainability practices at the maquiladora industry in Mexico. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 17(4), 478-489.
- Velázquez, L., Munguía, N., Zavala, A., Esquer, J., Will, M., & Delakowitz, B. (2014). Cleaner production and pollution prevention at the electronic and electric Mexican maquiladora. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 25(5), 600-614.
- Waldo, E., & García, C. (2004). *Tratamiento y Disposición Final de los Residuos Químicos Generados y Almacenados en los Laboratorios de Química Orgánica del Departamento de Ciencias Químico-Biológicas* (Tesis de Licenciatura). Hermosillo, Sonora: Departamento de Ciencias Químico-Biológicas. Universidad de Sonora.
- WHO. (2010). *Why urban health matters*. Sitio internet. Recuperado de <http://www.who.int/world-health-day/2010/media/whd2010background.pdf>
- Yang, H., Mingguo, M., Thompson, J. R., & Flower, R. J. (2017). Waste management, informal recycling, environmental pollution and public health. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 72(3), 237-243. doi:10.1136/jech-2016-208597

Enfermedades asociadas al ambiente en el centro de población de Hermosillo

*Ricardo Pacheco Elías
Héctor Duarte Tagles*

Con la finalidad de evaluar el impacto de la contaminación producida por el hombre y su relación con la calidad del aire, agua y residuos, se analizaron enfermedades asociadas a este problema con el fin de describir la tendencia de su comportamiento en un lapso de 18 años.

7.1. Indicadores de salud

La utilización de indicadores permite medir características de interés para un estudio en particular, por lo tanto, la elección adecuada de una variable relevante al fenómeno como indicador es fundamental (López-Blanco, & Rodríguez-Gamiño, 2009). En un esfuerzo por establecer indicadores de salud congruentes con los Objetivos del Desarrollo Sostenible, la OMS elaboró una guía de indicadores básicos de salud, cuyo propósito no solo era uniformizar criterios para todos los países, sino también dar un seguimiento puntual a las necesidades detectadas en cada país en este rubro (WHO, 2018). Estos indicadores propuestos se dividen en 4 tipos, donde además de considerar estadísticas vitales (mortalidad y morbilidades de ciertos grupos y enfermedades), se incluyen también factores de riesgo ambientales, tales como niveles de contaminación atmosférica y población con abastecimiento de agua potable y saneamiento. Como señala la

directora de la OMS para la salud de la familia, las mujeres y los niños, Dra. Flavia Bustreo, “el progresivo conocimiento en las interacciones del ambiente y la salud, conllevan al diseño de estrategias e intervenciones más efectivas de salud pública, dirigidas a eliminar los peligros a la salud y reducir los correspondientes riesgos” (Prüs-Ustün et al., 2016).

Debido a sus condiciones de desarrollo biológico y metabolismo particular, se considera que la población infantil, los ancianos y las gestantes en general son las poblaciones más vulnerables a la contaminación ambiental, por consiguiente, se pueden construir indicadores de salud ambiental a partir de las patologías observadas en estas categorías de edad (OPS, 2003). Esta condición de vulnerabilidad sugiere el monitoreo de estas poblaciones centinelas y no solo de sus patologías, ya que pueden representar adicionalmente una carga económica importante para países en desarrollo (Suk et al., 2016). Por esta razón, se decidió dividir el análisis del componente epidemiológico en tres grupos de edad (0 a 14 años, 15 a 64 años y 65 y más años), con la finalidad de analizar el comportamiento de cada una de las enfermedades por categoría, según la vulnerabilidad etaria, además de comparar el acumulado anual.

Los estimadores numéricos utilizados en el componente epidemiológico: las tasas de incidencia y tasas de mortalidad ajustadas, se construyeron de la siguiente manera:

- A. Se obtuvo la información de los eventos centinelas por grupo de edad, de 18 años (2000 al 2017), del área urbana de Hermosillo, exclusivamente, y se utilizaron como numeradores.
- B. Para definir el denominador, se consultaron los conteos de población del INEGI de los años 2000, 2005, 2010 y 2015; el resto de los años se construyeron de acuerdo con estimaciones, por lo cual se decidió tomar el 2010, como población estándar de la localidad de Hermosillo y así realizar un ajuste directo de tasas.
- C. Para seleccionar los eventos de la localidad de Hermosillo, se consultó la información por unidades de salud notificantes, y se eliminaron los datos de las unidades rurales de Hermosillo.
- D. Con los numeradores y denominadores de cada evento por año se estimaron los indicadores en tablas de Excel y se construyeron las gráficas de tendencia por cada evento centinela.

Se consultaron los catálogos de morbilidad y mortalidad, para de ahí seleccionar las enfermedades centinelas I y II (Rothwell et al., 1991) que sí están incluidas en el SINAVE y que cuentan con información consistente y útil para los fines de este trabajo. El resultado incluye las siguientes patologías¹⁷:

Eventos centinelas tipo I:

- Intoxicaciones: (T51-T60, T65)
- Mesotelioma (C45, C45.0, C45.1, C45.2, C45.7, C45.9)
- Cáncer de células claras en vagina (C52)
- Angiosarcoma hepático (C22.3)
- Pubertad precoz (E30.1, E30.9)
- Metahemoglobinemia (D74.8, D74.9)
- Neuropatía tóxica (G62.2, G62.9)

Eventos centinelas tipo II

- Cáncer de vejiga (C23)
- Cáncer de bronquios y pulmón (C340, C341, C342, C343, C348, C349, D022)
- Cáncer hepático (D01.5) entre no bebedores
- Rabdomiosarcoma (C49.9)
- Leucemia aguda (C91.0, C94.0, C94.2)
- Leucemia granulocítica aguda (C92.0)
- Asma infantil (J45, J46)
- Bronquitis (J40)
- Bronquitis crónica simple y mucopurulenta (J41)
- Bronquitis crónica no especificada (J42)
- Enfisema (J43)
- Otras enfermedades obstructivas crónicas (J44)
- Cólera (A00) [último caso 1991]

¹⁷ Los códigos entre paréntesis representan la numeración de la CIE-10.

- Fiebre tifoidea o paratifoidea (A01) / Otras infecciones por Salmonela (A02)
- Shigelosis (A03)
- Otras infecciones bacterianas intestinales (A06)
- Otras intoxicaciones alimentarias bacterianas (A05)
- Amebiasis (A06)
- Otras infecciones intestinales debidas a protozoarios (A07)
- Otras infecciones intestinales debidas a virus y otros organismos especificados (A08)
- Diarrea y gastroenteritis de presunto origen infeccioso (A09) 41
- Hepatitis A (B15)
- Tracoma (A71)
- Esquistosomiasis (B65)
- Cataratas (H26.0, H26.8, H26.9)
- Melanoma (D03)
- Carcinoma basocelular (D04)
- Enfermedades respiratorias (J00-J06, J09-J18, J20-J22, J30-J39, J40-J47, J60-J70, J80-J84, J85-J86, J90-J94, J95-J99)
- Enfermedades cardiovasculares (I20-I25, I26-I28)
- Enfermedades cerebrovasculares (I60-I69)

En términos generales, se puede observar un comportamiento diferenciado de las tendencias que muestran estas patologías a lo largo del tiempo, destacando la alta prevalencia de enfermedades respiratorias e intestinales (figura 7.1).

Llama la atención que, prácticamente, todas las enfermedades analizadas tuvieron un repunte en el año 2003 y más tarde descendieron, con excepción de las infecciones respiratorias, cuyo comportamiento normalmente alto mostró una sima justo cuando los registros de partículas suspendidas totales fueron los más altos de todo el periodo considerado (figura 7.1).

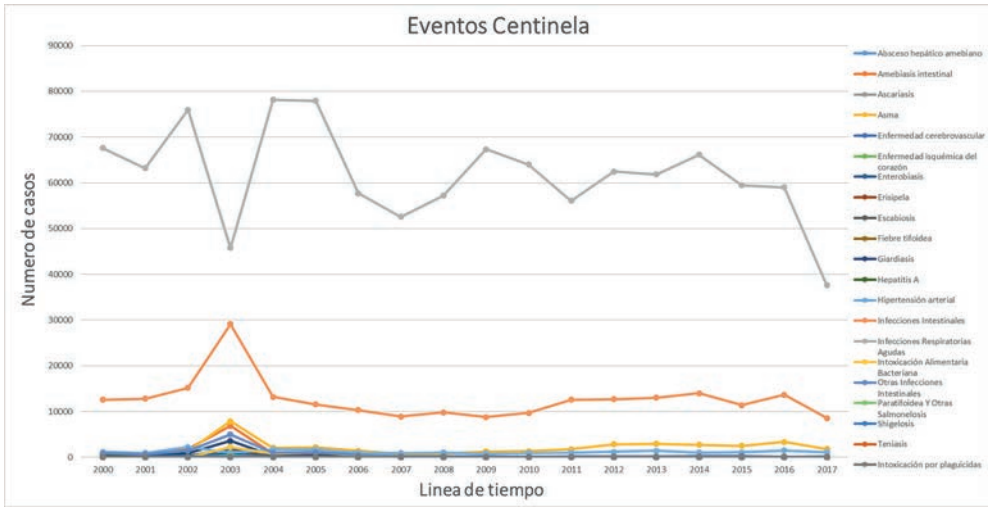


Figura 7.1. Tendencia general de las enfermedades centinela observadas en Hermosillo durante el periodo 2000-2017

Fuente: Elaboración propia con datos del SUIVE.

Para una mejor visualización, los registros encontrados de las enfermedades centinela fueron analizados por componente ambiental. Por ejemplo, para las enfermedades transmitidas por agua y alimentos en el capítulo de contaminación del agua; las enfermedades respiratorias y cardiovasculares en el capítulo de contaminación del aire; las intoxicaciones y mesoteliomas en el capítulo de residuos municipales y las leucemias.

Mención especial en el apartado epidemiológico es el cáncer, ya que es una condición mórbida asociada a todos los componentes ambientales¹⁸. En todos los tipos de cáncer, algunas de las células del cuerpo empiezan a dividirse de forma incontrolada y se diseminan a los tejidos adyacentes.

7.2. Eventos en salud asociados a la calidad del agua

En Hermosillo, existen muchas publicaciones relacionadas con enfermedades gastrointestinales de tipo infeccioso, tanto bacteriano (Navarro-Navarro et al., 2011) como parasitario (Avendaño, & Amaya, 2017), sin embargo, la mayoría se enfoca en la identificación de los microorganismos

¹⁸ Para mayor información, consulte la siguiente página: <https://www.cancer.gov/espanol/cancer/naturaleza/que-es>

en pacientes con cursos complicados de la enfermedad, más que en definir el origen de las exposiciones. Se estima que alrededor de 57% de las enfermedades diarreicas a nivel mundial es atribuido a problemas relacionados con una mala calidad del agua (Prüs-Ustün et al., 2016).

7.2.1. Enfermedades Transmitidas por los Alimentos (ETA)

Son las patologías más asociadas al aparato digestivo, incluidas las intoxicaciones e infecciones gastrointestinales, las cuales son producidas por la ingestión accidental, incidental o intencional de alimentos o agua, contaminados en cantidades suficientes con agentes químicos o microbiológicos, debido a la deficiencia en el proceso de elaboración, manipulación, conservación, transporte, distribución o comercialización de los alimentos y agua (Heyman, 2011).

Síntomas

- Vómitos
- Dolor abdominal
- Diarrea
- Fiebre
- Ojos hinchados
- Cefalea (dolor de cabeza)

Guardan una estrecha relación causal con la calidad del agua, la cual constituye la primera causa de morbilidad del estado de Sonora. De acuerdo con los registros del SUAVE para 2017, Hermosillo concentró 36% del total de estas enfermedades diarreicas, es decir, el más alto de todos los municipios del estado de Sonora.

El sistema de registro para captar casos que provocan un cuadro diarreico es muy inespecífico, puede variar desde cualquier bacteria enteropatógena (v.g. *E. coli*, *Salmonella sp*, *Shigela sp*, *Vibrio cholerae*, etc.), parásitos intestinales (amebiasis intestinal o infecciones debidas a otros protozoarios), hasta virus (Rotavirus, Norovirus, etc.), y cualquiera de ellas en sus primeras horas de evolución y ante la falta de una prueba de laboratorio confirmatoria, se establece el diagnóstico genérico de “Gastro Enteritis Probablemente Infecciosa”, constituyendo 90% del volumen del total del grupo de diagnósticos de las ETA. Por esta razón, fueron seleccionadas las enfermedades intestinales y las mal definidas por otros orga-

nismos, donde claramente se muestra a los menores de 15 años con una tendencia sostenida alta, superior al del resto de los grupos (figura 7.2).

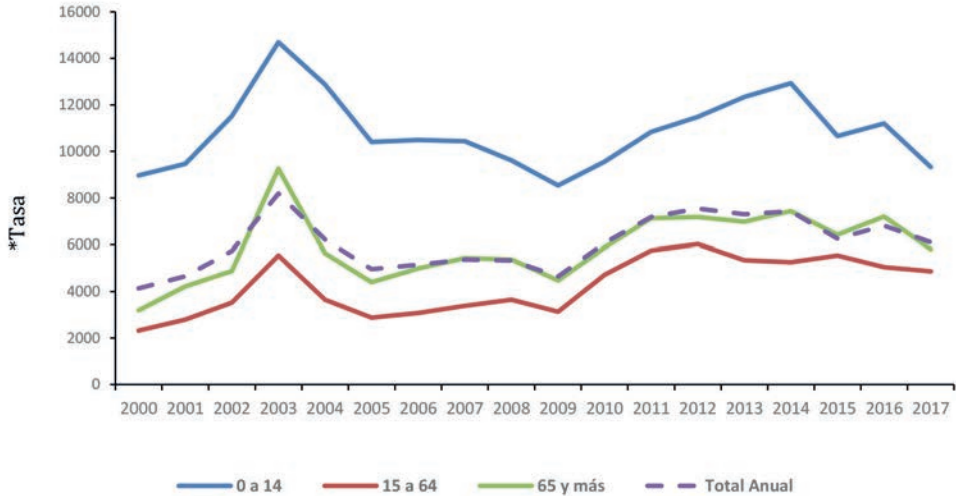


Figura 7.2. Comparativo de Tasas* Enfermedades intestinales y las mal definidas por otros organismos, en la localidad de Hermosillo, 2000 al 2017**

Fuente: Cubos dinámicos/ SINAVE *Tasa por cada 100,000 habitantes de la localidad de Hermosillo, **Cierre anual de cada año.

7.2.2. Hepatitis A (HA)

También conocida como hepatitis infecciosa, hepatitis epidémica, ictericia epidémica, ictericia catarral. En la mayoría de los países en desarrollo, la infección se produce en la niñez, de manera asintomática o con un cuadro benigno (Heyman, 2011). Se trata de la inflamación aguda del hígado de origen viral ocasionada por un RNA virus altamente infeccioso, transmitido principalmente por vía fecal-oral, a través de alimentos contaminados y/o contacto personal estrecho.

Síntomas

- Fiebre
- Malestar general
- Anorexia (falta de apetito)
- Náuseas

- Dolor abdominal
- Coluria (orina oscura)
- Acolia (heces blancas)
- Prurito generalizado (comezón)
- Ictericia (tinte amarillento)

La mala calidad del agua contaminada con materia fecal, así como los deficientes hábitos higiénicos son factores que conjuntan la multicausalidad de esta patología, la cual afecta principalmente a los menores de 15 años (figura 7.3).

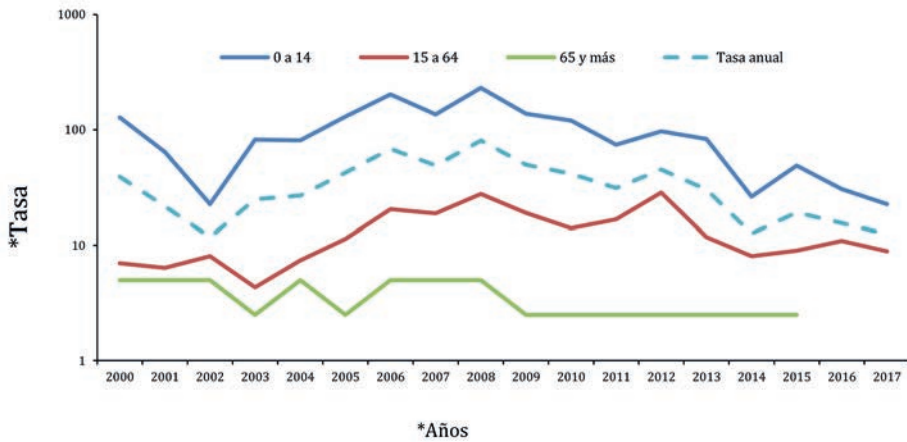


Figura 7.3. Comparativo de Tasas* Hepatitis aguda tipo A en la localidad de Hermosillo, 2000 al 2017**

Fuente: Cubos dinámicos/ SINAVE *Tasa por cada 100,000 habitantes de la localidad de Hermosillo, **Cierre anual de cada año.

7.2.3. Cáncer de vejiga

El cáncer de vejiga es la segunda neoplasia más común del sistema urinario humano, la novena neoplasia maligna más común en el mundo. Es un cáncer que comienza en la vejiga, la parte del cuerpo que contiene y secreta la orina y que está ubicada en el centro de la zona baja del abdomen¹⁹.

¹⁹ Para mayor información se puede consultar el sitio electrónico del Instituto Nacional del Cáncer de los EE. UU: <https://www.cancer.gov/espanol/tipos/vejiga>

Síntomas

- Hematuria (sangre en orina)
- Disuria (dolor al orinar)
- Polaquiuria (aumento del número de micciones)
- Urgencia urinaria (urgencia de orinar repentina y fuerte)
- Dolor
- Asintomática (sin molestia alguna)

Esta y otras neoplasias se han relacionado con la presencia de metales pesados en el agua. La minería es una actividad económica importante en el estado, y una fuente de generación de este tipo de contaminantes. Si bien se reconoce que el mecanismo de contaminación de las fuentes de agua es complejo e intervienen múltiples factores, la evidencia de estudios en este sentido, muestra que ciertas actividades de origen antropogénico como la minería, tienen el potencial de incrementar el riesgo de exposición de las fuentes de abastecimiento al contaminar el subsuelo o las fuentes superficiales (como los ríos) que abastecen a los centros poblacionales (Manzanares, 2016).

Por otro lado, la cloración del agua ha demostrado eficientemente una disminución en los niveles de enfermedades transmitidas por agua y alimentos, tal ha sido demostrado en nuestro país en la llamada transición epidemiológica, donde las diarreas dejaron de ser la causa número uno de morbilidad y mortalidad. Estudios recientes han encontrado que los subproductos de la reacción del exceso de cloro y la materia orgánica generan compuestos trihalometanos, que en altas concentraciones se han asociado con distintos tipos de tumores como el de vejiga y colon (Sánchez-Zafra, 2008). De acuerdo con la Figura 7.4, la tendencia de la mortalidad de estos tumores en la localidad es más frecuente en el grupo de edad de 65 y más años, seguido de los de 15 a 64 años de edad, pero las personas más jóvenes que lo registraron tenían 31 años en adelante; además de mostrar un incremento en los años 2005 al 2008.

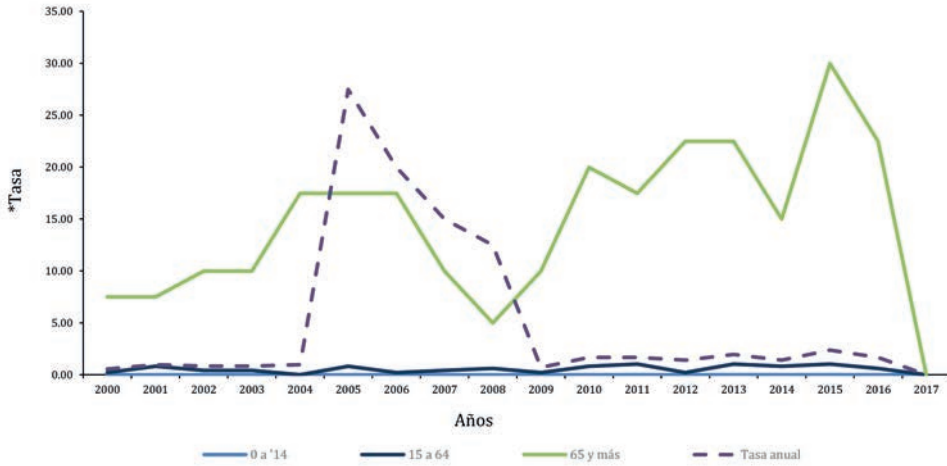


Figura 7.4. Comparativo de Tasas* Tumor maligno de la vejiga urinaria en la localidad de Hermosillo, 2000 al 2017**

Fuente: Cubos dinámicos/ SINAVE *Tasa por cada 100,000 habitantes de la localidad de Hermosillo, **Cierre anual de cada año.

7.3. Eventos en salud asociados a la calidad del aire

La contaminación del aire es la causante de aproximadamente 8% de todas las muertes a nivel mundial, y esta carga global tiende a seguir en aumento (Tonne, 2017). El término “contaminación del aire” incluye una amplia variedad de componentes químicos y biológicos de la atmósfera intra y extradomiciliaria. Uno de los contaminantes atmosféricos de mayor riesgo para la salud humana es el material particulado inhalable, cuyo diámetro aerodinámico es menor a 10 μm (PM10). Las partículas finas ambientales antropogénicas (PM2.5 y PM0.1) generadas en la combustión de combustibles fósiles (v.g. centrales eléctricas de carbón y el tráfico vehicular) se encuentran entre las principales causas de morbilidad y mortalidad en todo el mundo (Downward, 2018). De acuerdo con las cifras de la OMS, las estimaciones indican que aproximadamente 3.15 millones de muertes por año son atribuibles a PM2.5 (GBD 2015 Risk Factors Collaborators, 2016). Sin embargo, a pesar de que las asociaciones más fuertes se han encontrado para PM2.5, en la ciudad de Hermosillo aún no se miden de forma regular.

Los mayores efectos en la salud de una calidad del aire deficiente es sobre el sistema cardio-respiratorio, siendo los eventos cardiovasculares los que registran mayor mortalidad (Cakmak et al., 2019). Las elevaciones a corto plazo de PM2.5 aumentan el riesgo de infartos de miocardio, accidentes cerebrovasculares, insuficiencia cardíaca, arritmias y muerte cardíaca; mientras que las exposiciones a largo plazo aumentan de forma sinérgica este riesgo agudo e, incluso, pueden potenciar el desarrollo de afecciones cardiometabólicas crónicas, incluida la diabetes e hipertensión.

La exposición a contaminantes del aire no solo incrementa la ocurrencia de enfermedades respiratorias y/o cardiovasculares, sino que también aumenta el número de ingresos y estancia hospitalaria de pacientes por estas causas. Por eso, un indicador de bienestar importante es la calidad del aire, ya que determina la calidad de vida de niños menores, ancianos y pacientes con enfermedades respiratorias y cardiovasculares (Gouveia et al., 2017).

La OMS dentro de su Programa de Salud Pública y Medio Ambiente realizó una evaluación durante el 2012, donde se pone de relieve que la gran mayoría de las muertes vinculadas a la contaminación atmosférica se deben a enfermedades cardiovasculares (tablas 7.1 y 7.2).

Tabla 7.1

Muertes debidas a la contaminación del aire extradomiciliario-desglose por enfermedad

CAUSA DE LA DEFUNCIÓN	PORCENTAJE	PORCENTAJE ACUMULADO
Cardiopatía isquémica	40	40
Accidente cerebrovascular	40	80
Neumopatía obstructiva crónica	11	91
Cáncer de pulmón	6	97
Infección aguda de las vías respiratorias inferiores en los niños	3	100

Fuente: Boletín de la OMS (2014).

Tabla 7.2

Muertes debidas a la contaminación del aire intradomiciliario-desglose por enfermedad

CAUSA DE LA DEFUNCIÓN	PORCENTAJE	PORCENTAJE ACUMULADO
Enfermedad cerebrovascular	34	34
Cardiopatía isquémica	26	60
Neumopatía obstructiva crónica	22	82
Infección aguda de las vías respiratorias inferiores en los niños	12	94
Cáncer de pulmón	6	100

Fuente: Boletín de la OMS (2014).

7.3.1. Enfermedad Vascul ar Cerebral (EVC)

Las EVC se dividen en tres grandes grupos:

- Isquémica (80%)
- Hemorrágica (15-20%)
- Trombosis venosa cerebral (5%)

De la primera existen diferentes tipos y orígenes de ictus o accidente cerebrovascular, comúnmente llamado infarto cerebral. Se produce por la obstrucción del flujo sanguíneo de una arteria (trombosis, embolia), lo que origina una disminución del riego sanguíneo en esa parte del cerebro. Aproximadamente, 75% de todos los ictus son infartos cerebrales (Arauz, 2012).

Síntomas

El síntoma más común del accidente cerebrovascular es la pérdida súbita, generalmente unilateral, de fuerza muscular en los brazos, piernas o cara. Otros síntomas consisten en:

- Entumecimiento en la cara
- Entumecimiento de piernas o brazos
- Confusión
- Dislalia (dificultad para hablar o comprender lo que se dice)
- Problemas visuales en uno o ambos ojos

- Dificultad para caminar
- Mareos
- Pérdida de equilibrio o coordinación
- Cefalea (dolor de cabeza intenso) de causa desconocida
- Debilidad o pérdida de conciencia

Cada minuto que pasa antes del diagnóstico y de instalar la terapéutica específica, reduce la posibilidad de recuperación. El 90% de la EVC se registra en las personas de la tercera edad, mientras que los menores de 75 años presentan cuadros más agudos y con mayor mortalidad. Por lo general, las causas se atribuyen al estrechamiento de la luz carotídea o de otras arterias cerebrales, o enfermedades crónicas degenerativas como son la diabetes, además de mencionar causas de origen desconocido, probablemente asociado con la contaminación del aire de los automóviles, industrias y otras fuentes (Puentes, 2014).

En nuestro estudio podemos ver claramente que las tasas sostenidas altas efectivamente son en mayores de 65 años, sin embargo, hay evidencia clara de EVC en los grupos de 15 a 64 años, y en 2003, en los menores de 0 a 14 años (figura 7.5).

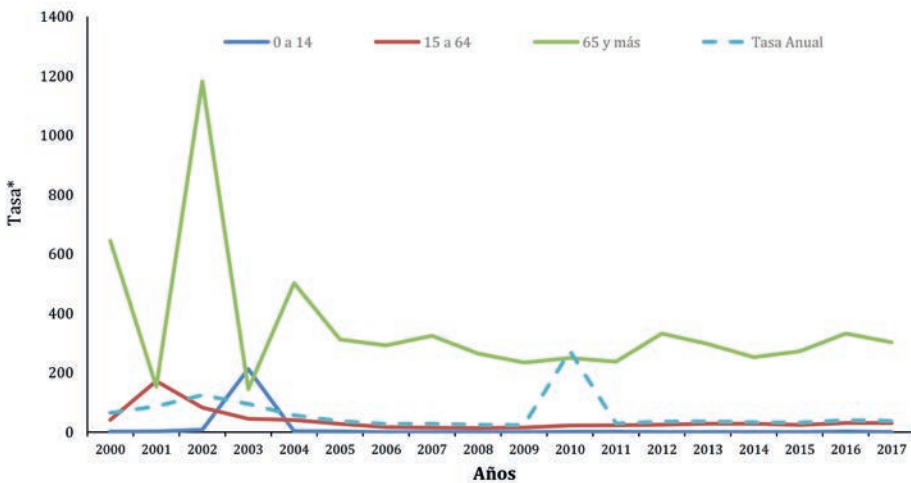


Figura 7.5. Comparativo de Tasas* Enfermedades cerebro vasculares en la localidad de Hermosillo, 2000 al 2017

Fuente: Cubos dinámicos/ SINAVE *Tasa por cada 100,000 habitantes de la localidad de Hermosillo, **Cierre anual de cada año.

7.3.2. Hipertensión Arterial (HTA)

La HTA es una condición mórbida considerada a su vez como factor de riesgo modificable para un sinnúmero de padecimientos; en la actualidad, es considerado como uno de los mayores problemas de salud pública. Las enfermedades cardiovasculares se han convertido en la primera causa de muerte en todos los países del mundo industrializado, y el análisis epidemiológico de este fenómeno ha permitido reconocer la existencia de unas variables biológicas denominadas factores de riesgo de enfermedad cardiovascular, capaces de influenciar la probabilidad del padecimiento de accidentes cerebrovasculares, enfermedad coronaria, insuficiencia cardíaca o arteriopatía periférica (Rosas-Peralta et al., 2016).

Síntomas

Según la OMS, el límite para definir a una persona como hipertensa es de más de 140 mm Hg en la presión sistólica o una elevación ≥ 90 mm Hg en la diastólica. La HTA más frecuente es la también conocida como el *asesino silencioso*, ya que es generalmente asintomática, aunque en algunos de los pacientes pueden referir:

- Cefalea
- Acufenos (zumbidos o silbidos en [o los] oído(s))
- Fosfenos (ver manchas luminosas)

También la otra variante HTA es más severa, donde ya hay daño a órganos blancos como el riñón, cerebro y corazón. Aquí es donde se presenta, por lo regular, una mayor mortalidad.

La prevalencia de las HTA guarda estrecha relación con la edad, el medio ambiente, el estilo de vida, el género y los factores comórbidos, como la diabetes, la obesidad, las dislipidemias, el tabaquismo y la predisposición genética. La prevalencia de la HTA en términos porcentuales se relaciona de manera directa con la edad; se ha encontrado que en México aproximadamente 75 % de los hipertensos tiene menos de 54 años de edad (Rosas-Peralta et al., 2016).

La mayor afectación encontrada fue al grupo de mayores de 65 y más años, sin embargo, el grupo de 15 a 64 años presenta tasas en promedio de 445 por cada 100 mil habitantes, pero solo durante 2002 y 2003 se registraron casos en menores de 14 años (figura 7.6).

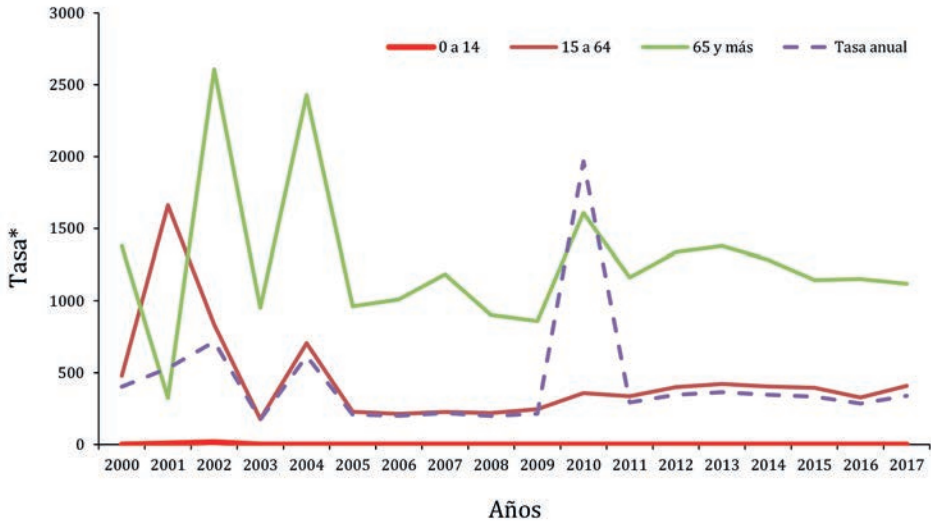


Figura 7.6. Comparativo de Tasas* de Hipertensión arterial en la localidad de Hermosillo, 2000 al 2017**

Fuente: Cubos dinámicos/ SINAVE *Tasa por cada 100 000 habitantes de la localidad de Hermosillo, **Cierre anual de cada año.

7.3.3. Enfermedad Isquémica del Corazón (EIC)

Está íntimamente relacionada con la HTA, aunque estimaciones de la OMS de los últimos 25 años en sus estudios de la carga mundial de enfermedades (1990- 2015) indican que se ha mantenido relativamente estable, no así para los países en desarrollo, ya que sus industrias contaminan sostenidamente el aire (Babatola, 2018).

Síntomas

Clínicamente los síntomas de esta patología son por falta de irrigación sanguínea del músculo cardíaco, la cual produce:

- Dolor tipo opresivo en el pecho (como si pusieran un gran peso, oprimiendo el tórax)
- Dolor en el brazo y antebrazo izquierdo
- Sudoración excesiva
- Facies de angustia (expresión facial de angustia o muerte)
- Síncope (desmayo)

Es importante mencionar que los menores de 60 años presentan la mortalidad más alta en el primer evento, ya que no han desarrollado ramas colaterales de las arterias coronarias, mientras que, en los mayores de 60 años, como ya las han desarrollado, resisten más los eventos cardíacos y su mortalidad en los primeros eventos es más baja.

En Hermosillo hay dos grupos de edad mayormente afectados con las tasas sostenidas más altas (en promedio 840 por cada 100 mil habitantes): de 65 y más años de edad, y los de 15 a 64 años (en promedio 124 por cada 100 mil habitantes), como podemos apreciar en la figura 7.7.

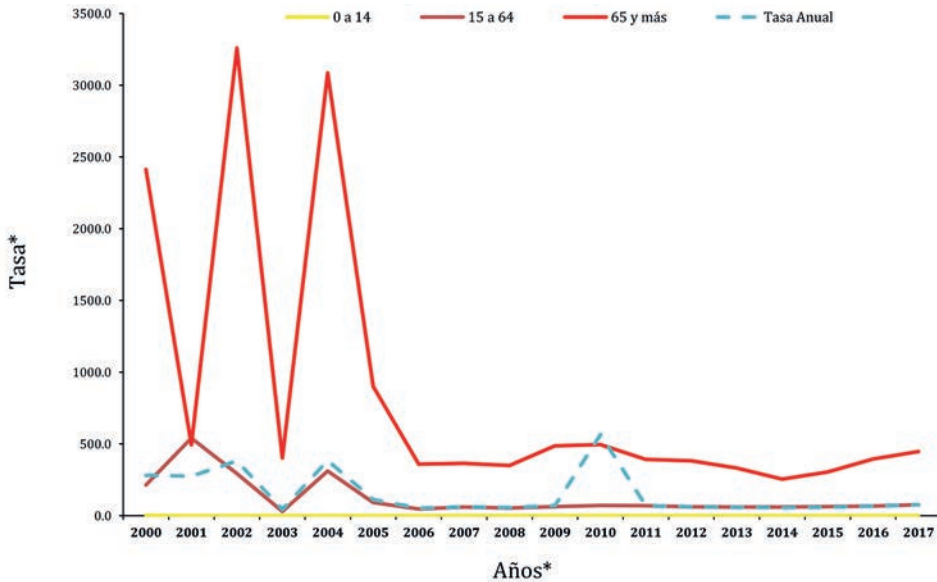


Figura 7.7. Comparativo de Tasa* de Enfermedades Isquémica del corazón en la localidad de Hermosillo, 2000 al 2017**

Fuente: Cubos dinámicos/ SINAVE *Tasa por cada 100,000 habitantes de la localidad de Hermosillo, **Cierre anual de cada año.

7.3.4. Infecciones Respiratorias Agudas (IRA)

Este diagnóstico es muy frecuente y se pueden englobar infecciones respiratorias altas por virus, bacterias, rinitis, faringitis, alérgenos y otras no bien definidas, es decir, cualquiera de estos agentes biológicos puede causar (Álvarez-Castelló et al., 2008):

- Inflamación en la mucosa respiratoria o del oído, nariz o garganta (inclusive en los tres al mismo tiempo)

- Rinitis (escurrimiento nasal)
- Fiebre
- Estornudos
- Malestar general

Y cuando se continúa a la vía respiratoria baja (tráquea, bronquios y/o pulmón) puede causar alguno o más de los siguientes síntomas:

- Tos
- Producción de esputo (flemas)
- Broncoespasmo (inflamación y estrechamiento de la luz bronquial)
- Sibilancias (silbido)
- Insuficiencia respiratoria
- Síndrome de distrés respiratoria y, en ocasiones, hasta la muerte

De acuerdo con el SUIVE, las IRA en Sonora forman parte de las 10 principales causas de morbilidad, situación predominante en la localidad de Hermosillo. Por ello, podemos decir que las enfermedades infecciosas del aparato respiratorio son uno de los eventos centinelas de salud ambiental más representativos del centro de población, donde el grupo de edad más afectado es el de 0 a 14 años, mientras que los grupos de 15 a 64 y 65 y más años, se encuentra por debajo de la tasa anual (figura 7.8).

Las infecciones de las vías respiratorias bajas, como la bronquitis, bronquiolitis, neumonías, bronconeumonías, bronquiectasias y exacerbaciones de la enfermedad pulmonar obstructiva crónica, como pueden ser neumonías, se engloban en esta causa²⁰. Dentro del comportamiento durante el periodo de estudio, se observó un fenómeno importante, como lo es el entrecruzamiento de los extremos de la vida, es decir, los grupos con las tasas más altas son los de 0 a 14 años y los de 65 y más años, del año 2000 al 2007, cuando se mantuvieron los menores de edad con las tasas más altas y, posteriormente, descendieron entrecruzándose con el de 65 y más y estos incrementaron sus tasas, al permanecer así hasta el 2017. Por otro lado, el grupo de 15 a 64 años se mantiene con tasas bajas, pese a ser un grupo de edad muy amplio, inclusive por debajo del comportamiento anual (figura 7.9).

²⁰ Se considera una infección de vías respiratorias baja crónica cuando presenta tres o más episodios durante un año.

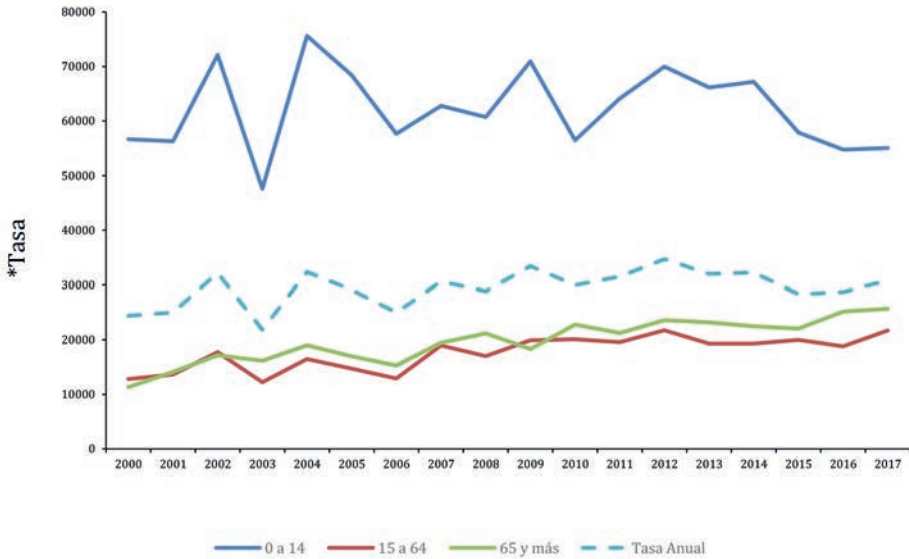


Figura 7.8. Comparativo de Tasas* Enfermedades infecciosas del aparato respiratorio en la localidad de Hermosillo, 2000 al 2017**

Fuente: Cubos dinámicos/ SINAVE *Tasa por cada 100,000 habitantes de la localidad de Hermosillo, **Cierre anual de cada año.

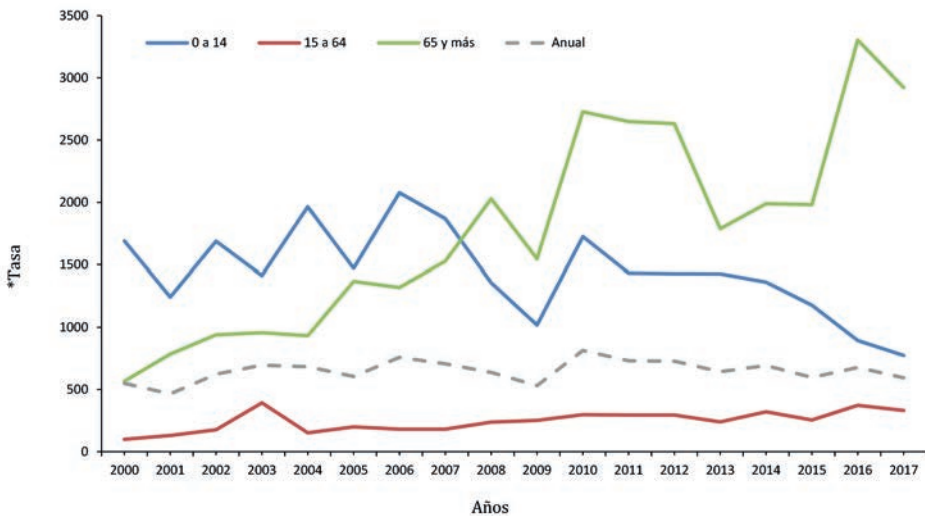


Figura 7.9. Comparativo de Tasas* de Neumonías y bronconeumonías en la localidad de Hermosillo, 2000 al 2017**

Fuente: Cubos dinámicos/ SINAVE *Tasa por cada 100,000 habitantes de la localidad de Hermosillo, **Cierre anual de cada año.

7.3.5. *Asma*

El asma es una enfermedad inflamatoria crónica de las vías aéreas, donde se presenta función pulmonar variable con datos de obstrucción del flujo aéreo, así como datos de hiperreactividad bronquial. El asma, en ocasiones, es grave y, ocasionalmente, fatal (Regalado-Pineda, & Vargas, 2005).

Síntomas

- Crisis de tos
- Dificultad respiratoria
- Sibilancias
- Cuadros de dificultad respiratoria usualmente reversibles

Existe evidencia suficiente de que la contaminación del aire provoca crisis asmáticas en la población e, incluso, algunos estudios sugieren que algunas personas expuestas a una mala calidad del aire pueden desarrollar asma. Al parecer el efecto combinado del aumento de la población en centros urbanos de países en desarrollo, así como el deterioro de su calidad del aire, está ocasionando un aumento de la prevalencia de asma en estos países (Guarnieri, & Balmes, 2014).

Los contaminantes del aire urbano tienen una amplia gama de efectos agudos y crónicos en el sistema respiratorio en poblaciones vulnerables, como son los niños, razón por la cual se considera dicho grupo centinela para esta exposición. Aunque el asma tiene un componente genético importante, diversos estudios han mostrado que la contaminación del aire no solo aumenta la prevalencia de los síntomas, sino también la severidad de los mismos (Siddique et al., 2010).

En un estudio realizado en el año 2000 en la localidad de Hermosillo, se determinó una prevalencia global en niños escolares de 9.5% (Mendoza et al., 2001). Otros estudios epidemiológicos han revelado que existe una variación importante en las prevalencias de esta enfermedad, pese a que es muy común. La tendencia es ascendente y tuvo un incremento súbito durante el 2003, que se suavizó, posteriormente, sin embargo, el grupo de población más afectado fue el de los menores de edad (figura 7.10).

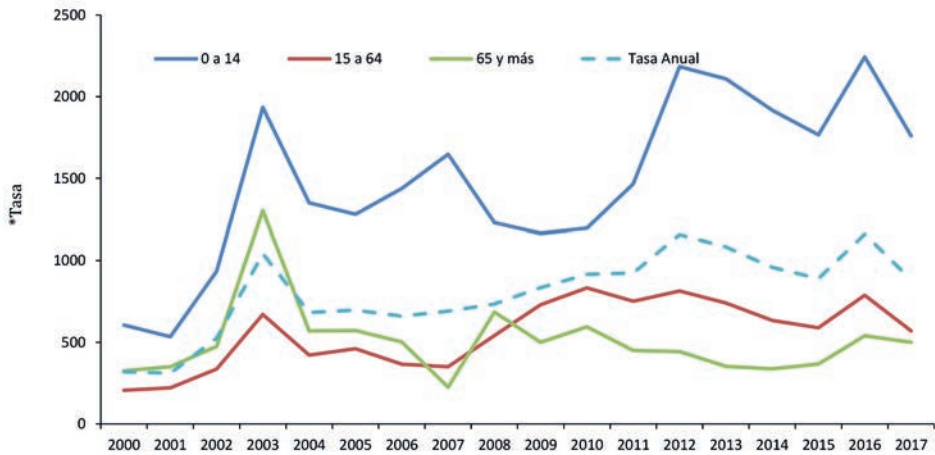


Figura 7.10. Comparativo de Tasas* Asma y estado asmático en la localidad de Hermosillo, 2000 al 2017**

Fuente: Cubos dinámicos/ SINAVE *Tasa por cada 100,000 habitantes de la localidad de Hermosillo, **Cierre anual de cada año.

7.3.6. Enfisema y otras Enfermedades Pulmonares Obstructivas Crónicas (EPOC)

La EPOC es una afección prevenible y tratable que dificulta la expulsión de aire de los pulmones en fases tempranas. Dicha dificultad para vaciar los pulmones (obstrucción del flujo de aire) puede causar falta de aire o sensación de cansancio debido al esfuerzo que se realiza para respirar. EPOC es un término que incluye la bronquitis crónica (tres o más episodios de bronquitis por año), el enfisema (la pared del alveolo se daña y atrapa aire, dificultando el intercambio gaseoso) y una combinación de ambas enfermedades (ATS, 2005).

Los síntomas de la EPOC no suelen aparecer hasta cuando ya se ha producido un daño significativo y, por lo general, empeoran con el tiempo, particularmente si el paciente sigue expuesto al humo del tabaco. Los pacientes con bronquitis crónica presentan una tos diaria y producción de mucosidad (esputo) como síntoma principal, durante al menos tres meses al año en dos años consecutivos (Gordillo-Corzo et al., 2002).

Síntomas

- Disnea (dificultad para respirar)
- Silbido al respirar (durante actividad física)

- Presión en el pecho
- Tener que aclararse la garganta temprano a la mañana, debido al exceso de mucosidad en los pulmones
- Tos crónica que puede producir mucosidad (esputo), la cual puede ser transparente, blanca, amarilla o verdosa
- Color azul en los labios o los lechos ungueales (cianosis)
- Infecciones respiratorias frecuentes
- Falta de energía
- Pérdida de peso involuntaria (en los estadios más avanzados)
- Hinchazón en los tobillos, los pies o las piernas

Debido a la limitada utilidad de los datos de morbilidad en grupo para EPOC, se prefirieron los registros del INEGI sobre defunciones. Se observa que la tendencia de la mortalidad por EPOC es francamente ascendente en el grupo de edad de 65 y más años y con un pico súbito durante el 2010, que se suaviza posteriormente, sin embargo, se mantienen altas las tasas; el grupo de edad de 15 a 64 años muestra un comportamiento estable bajo, pero los menores de 15 años, a partir del 2009, muestran un ligero despunte entre 0.5 a 1.1 muertes por cada 100 mil habitantes (figura 7.11).

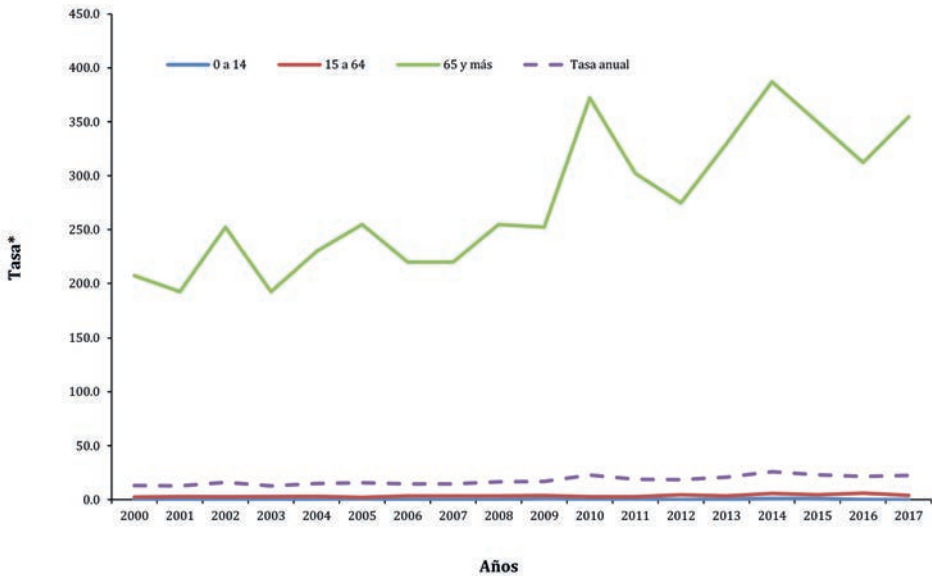


Figura 7.11. Comparativo de Tasas* Enfisema pulmonar y otras enfermedades pulmonares obstructivas en la localidad de Hermosillo, 2000 al 2017**
 Fuente: Cubos dinámicos/ SINAVE *Tasa por cada 100,000 habitantes de la localidad de Hermosillo, **Cierre anual de cada año.

7.3.7. Tumores malignos de bronquios y pulmón

La contaminación del aire exterior es una mezcla compleja que contiene varios carcinógenos conocidos; se ha asociado con un mayor riesgo de cáncer de pulmón en muchos estudios durante los últimos 50 años. Los tumores malignos de bronquios y pulmón son los más frecuentes, y de muy alta mortalidad, los cuales se estimaron en 7% del total de la mortalidad total atribuible a PM 2.5 en 2010. Un meta-análisis reciente calculó el riesgo relativo de cáncer de pulmón asociado con PM 2.5 a partir de 18 estudios, donde se encontró un valor significativo de 1.09 (IC 95%: 1.04, 1.14) (Hamra et al., 2014).

La clasificación de las partículas ultra finas, como carcinógenos del grupo 1 por la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC), justifican aún más los esfuerzos para reducir la exposición a contaminantes del aire, sobre todo el particulado. En fases iniciales, la enfermedad no produce síntomas o estos son inespecíficos; cuando produce síntomas, usualmente está en una etapa avanzada.

Síntomas

La disnea se presenta cuando la lesión tumoral compromete las vías respiratorias centrales y, de acuerdo con el grado de obstrucción, generalmente cuando es mayor a 50%, que la hace grave.

En cuanto a la mortalidad observada en los tumores malignos de bronquios y de pulmón en este periodo en Hermosillo, el individuo más joven tuvo 21 años, sin embargo, las tasas altas se observan en el grupo de mayores de 65 años, lo cual se asocia con la exposición por un periodo prolongado a los contaminantes ambientales (figura 7.12).

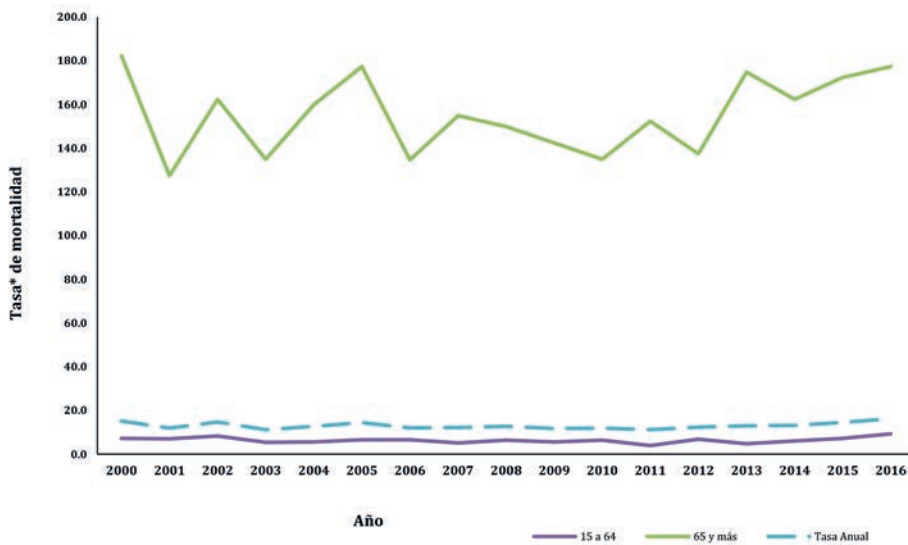


Figura 7.12. Comparativo de Tasas* de Tumores malignos bronquio y de pulmón en la localidad de Hermosillo, 2000 al 2016**

Fuente: Cubos dinámicos/ SINAVE *Tasa por cada 100,000 habitantes de la localidad de Hermosillo, **Cierre anual de cada año.

7.3.8. Eventos en salud asociados a la exposición a residuos municipales

Hoy por hoy, la generación de residuos se ha convertido en un grave problema para la salud humana, pues se han creado diversos escenarios de riesgo de acuerdo con el nivel de exposición que presentan los diferentes grupos poblacionales. Por un lado, los residuos sólidos urbanos generan

principalmente biogás y lixiviados, los cuales pueden contener cantidades variables de compuestos dañinos al ambiente y la salud. El biogás, que se genera como producto de la biodegradación mayoritariamente anaerobia, contiene compuestos orgánicos volátiles no metánicos que pueden afectar el sistema cardio-respiratorio y el nervioso, además de las emisiones fugitivas de olores provocados por algunos subproductos aromáticos y metano en las operaciones de disposición (Cárdenas-Moreno et al., 2016).

Por otro lado, los problemas al ambiente y a la salud provocados por los residuos peligrosos tienden a ser especialmente graves en países en desarrollo en los que no existen tecnologías para su adecuado tratamiento y disposición final; pueden producir manifestaciones dermatológicas, daños oculares y respiratorios en intoxicaciones agudas, así como efectos carcinogénicos, mutagénicos, teratogénicos, inmunológicos y otros en intoxicaciones crónicas (Sardiñas-Peña et al., 2001). Los diferentes escenarios de exposición a estos residuos pueden ser diversos en relación con su producción, manejo, almacenamiento y confinamiento final, por lo tanto, los riesgos de exposición pueden ser a) en los sitios de producción (exposición laboral o exposición accidental); b) durante el transporte de ellos (accidentes); y c) en los sitios donde se almacenan o se confinan para su tratamiento (Petrovic et al., 2018).

El relleno sanitario municipal de residuos sólidos en Hermosillo, aunque lejos del centro de población, representa una fuente potencial de contaminación de los compartimentos ambientales y representa una amenaza para la salud humana como resultado de prácticas de gestión de residuos no desarrolladas, sobre todo para la población ocupacionalmente expuesta en los servicios municipales de recolección. Es posible también que los mismos RSU se “contaminen” con RP al no existir un procedimiento que garantice una colecta domiciliaria libre de estos últimos, aumentando el volumen de los RP y, por ende, el costo de su manejo. No obstante, lo difícil que resulta su control, la creación de un sitio de confinamiento local exclusivo para RP es controversial. En 1998 dejó de funcionar CYTRAR, una empresa mexicana con capital español que operaba el único confinamiento de RP del noroeste de México y segundo a nivel nacional. Sin embargo, las pugnas legales a las que se enfrentó con diversos organismos de la sociedad civil, terminaron por forzar a las autoridades ambientales a impedir que siguiera operando y terminaron por cerrar y clausurar el sitio. La reacción social puso de manifiesto que fue necesario trascender la esfera de lo legal y técnico para combatir con éxito esta causa, ya que el ob-

jetivo de detener un posible daño al ambiente y a la salud resultaba poco claro, ante la carencia de casos enfermos y daño visible al entorno que pudieran ser fácilmente ligados al CYTRAR (Velázquez-García, 2009).

7.3.9. Cáncer hepático

Entre no bebedores puede deberse a la interacción de diversos contaminantes químicos, como el benceno, *thorotrast* (medio de contraste para ciertas pruebas radiológicas, actualmente en desuso), o el cloruro de vinilo, que se desprende en la quema de tubería de PVC. A menudo, los signos y síntomas del cáncer de hígado no aparecen sino hasta que la enfermedad se encuentra en etapas más avanzadas, aunque a veces pueden presentarse más temprano. Si acude al médico cuando comienza a notar los síntomas, es posible que el cáncer se diagnostique más temprano, cuando es más probable que el tratamiento sea útil.

Síntomas

- Pérdida de peso (sin tratar de bajar de peso)
- Pérdida de apetito
- Sensación de llenura tras comer poco
- Náuseas o vómitos
- Un agrandamiento del hígado (se siente como una masa debajo de las costillas del lado derecho)
- Un agrandamiento del bazo (se siente como una masa debajo de las costillas del lado izquierdo)
- Dolor en el abdomen o cerca del omóplato derecho
- Hinchazón o acumulación de líquido en el abdomen
- Picazón
- Coloración amarillenta de la piel y los ojos (ictericia)

Algunos otros síntomas pueden incluir fiebre, venas agrandadas en el abdomen que se pueden observar a través de la piel, y sangrado o moretones anormales²¹.

Por otro lado, del angiosarcoma del hígado, considerado uno de los tipos de tumores malignos con baja frecuencia, pero con mucha asociación

²¹ Mayor información se puede consultar en el sitio electrónico del Instituto Nacional del Cáncer de los EE. UU.: <https://www.cancer.gov/es/cancer/cancer-de-higado.html>

con la contaminación por residuos químicos (enfermedad centinela), no se encontraron registros en el periodo establecido.

Los tumores malignos de hígado y vías biliares guardan una tendencia estacional en la tasa anual, pero el grupo mayormente afectado es el de los 65 años y más, con algunos incrementos en 2003, aunque la tendencia a partir del 2011 es un incremento constante, inclusive para los de 15 a 64 años, con un pico en el 2011 y una tendencia discretamente ascendente (figura 7.13).

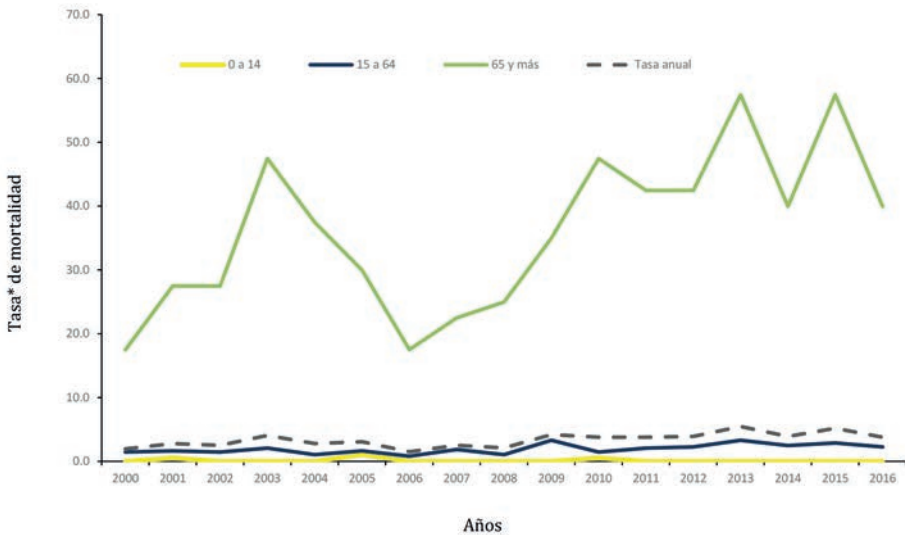


Figura 7.13. Comparativo de Tasas* de mortalidad por Tumores malignos del hígado y vías biliares en la localidad de Hermosillo, 2000 al 2016**

Fuente: Cubos dinámicos/ SINAVE *Tasa por cada 100,000 habitantes de la localidad de Hermosillo, **Cierre anual de cada año.

7.3.10. Cáncer de células claras de vagina

Las pacientes con cáncer vaginal son generalmente asintomáticas, reportándose en un 10 a 20% en etapas iniciales. Los síntomas del cáncer de vagina avanzado pueden ser dolor al orinar, estreñimiento y dolor constante en la pelvis, aunque la presencia de estos síntomas no siempre significa que se tiene cáncer²². Más de ocho de cada 10 mujeres con cáncer de vagina invasivo tienen uno o más síntomas, tales como:

²² Mayor información se puede consultar en el sitio electrónico del Instituto Nacional del Cáncer de los EE. UU.: <https://www.cancer.gov/es/cancer/cancer-de-vagina.html>

- Sangrado vaginal anormal (por lo general después de las relaciones sexuales)
- Flujo vaginal anormal
- Un bulto que puede ser palpado
- Dolor durante la relación sexual

Si bien su presentación es muy rara y solo en se ha notado en pacientes adultos, en Sonora se han registrado 4 en 17 años, sin embargo, no hay una razón justificada para pensar de que no podrían observarse más casos posteriormente (figura 7.14).

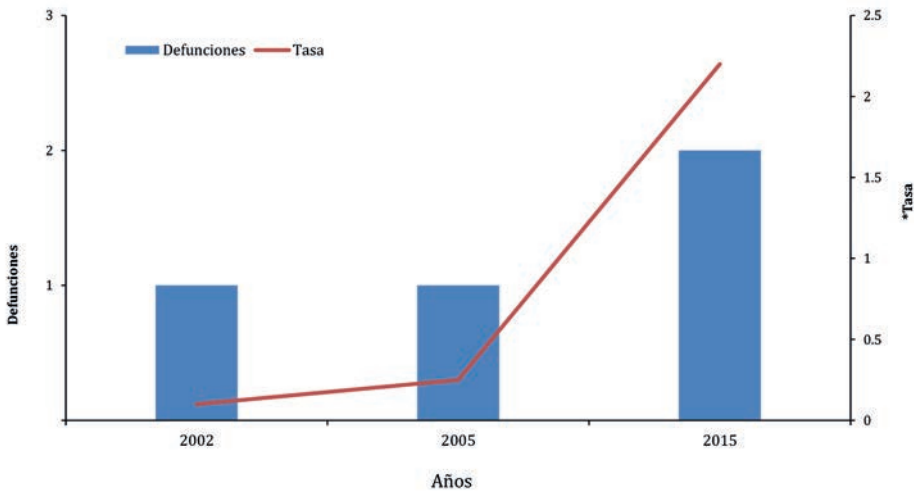


Figura 7.14. Comparativo de Tasas* de Tumores malignos de células claras de la vagina en la localidad de Hermosillo, 2000 al 2016**

Fuente: Cubos dinámicos/ SINAVE *Tasa por cada 100,000 habitantes de la localidad de Hermosillo, **Cierre anual de cada año.

7.3.11. Leucemia granulocítica

La palabra leucemia designa a un grupo de neoplasias generadas por alteraciones de los circuitos genéticos que regulan la vida: crecimiento, diferenciación y muerte de las células progenitoras hematopoyéticas²³.

²³ Mayor información se puede consultar en el sitio electrónico del Instituto Nacional del Cáncer de los EE. UU.: <https://www.cancer.gov/espanol/tipos/leucemia>

Es importante mencionar que existen innumerables estudios que tratan de encontrar la causa de los diferentes tipos de leucemias, sin embargo, no hay una causa concluyente en cada una, aunque se mencionan los diferentes tipos de factores de riesgo que las pueden desencadenar:

- Familiares
- Genéticos
- Radiaciones ionizantes / no-ionizantes
- Exposición a productos químicos
- Hidrocarburos
- Drogas quimioterapéuticas
- Infecciones virales
- Otros factores diversos

Diversos estudios epidemiológicos han demostrado que la exposición a niveles altos de benceno, químicos volátiles, industria de caucho, plaguicidas, se correlaciona con una mayor incidencia de anemia aplásica y leucemia (Pyatt, & Hays, 2010). Desde 1982, el benceno está clasificado como cancerígeno humano por la IARC por la Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH). Para efectos de este estudio, la leucemia granulocítica aguda se encontró presente en todos los grupos de edad, con afectación frecuente en los grupos de 65 y más años (figura 7.15).

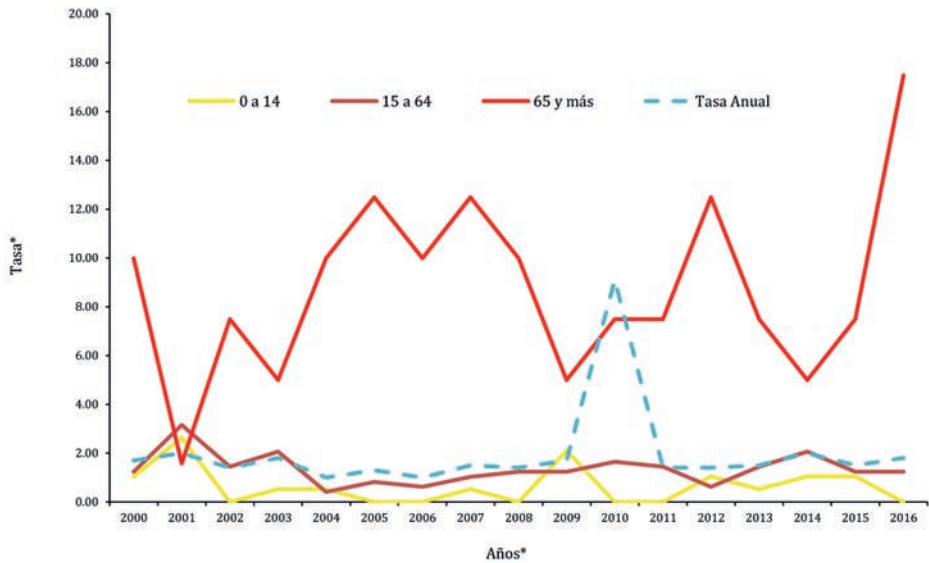


Figura 7.15. Comparativo de Tasas* de Leucemia granulocítica aguda entre adultos en la localidad de Hermosillo, 2000 al 2016**

Fuente: Cubos dinámicos/ SINAVE *Tasa por cada 100,000 habitantes de la localidad de Hermosillo, **Cierre anual de cada año.

7.3.12. Leucemias agudas

Las leucemias son un grupo heterogéneo de enfermedades que se distinguen por infiltración de la médula ósea, sangre y otros tejidos, por células neoplásicas del sistema hematopoyético, mediante mutación somática de la célula madre que, de acuerdo con su evolución, se clasifica como aguda y crónica, además, según su estirpe celular afectada, será linfoide o mieloide. En la mayoría de los casos, esta enfermedad lleva a la muerte del paciente (Ortega, 2007).

Síntomas

- Astenia (fatiga que impide las actividades cotidianas)
- Adinamia (falta de fuerza física)
- Fiebre
- Síndrome anémico (desnutrición)
- Sangrado
- Infecciones

- Dolor óseo
- Hepatoesplenomegalia (crecimiento del hígado y bazo)
- Linfadenopatía (inflamación de los ganglios linfáticos)

La asociación más fuerte ha sido encontrada entre plaguicidas y los subtipos de leucemia M4 y M5 en niños pequeños. También la exposición ambiental doméstica postnatal a plaguicidas incrementa el riesgo de leucemia durante la niñez. Inclusive, otro de los factores ambientales es el benceno libre en el aire, sin embargo, nuevos temas de investigación son los ligados al bajo peso al nacer por exposición de la madre a ambientes con contaminantes en el componente aire (Ferrís i Tortajada et al., 1999).

El comportamiento de mortalidad por leucemia aguda en Hermosillo, también afecta a todos los grupos de edad, sin embargo, el grupo mayormente afectado es el de 65 y más años de edad (figura 7.16).

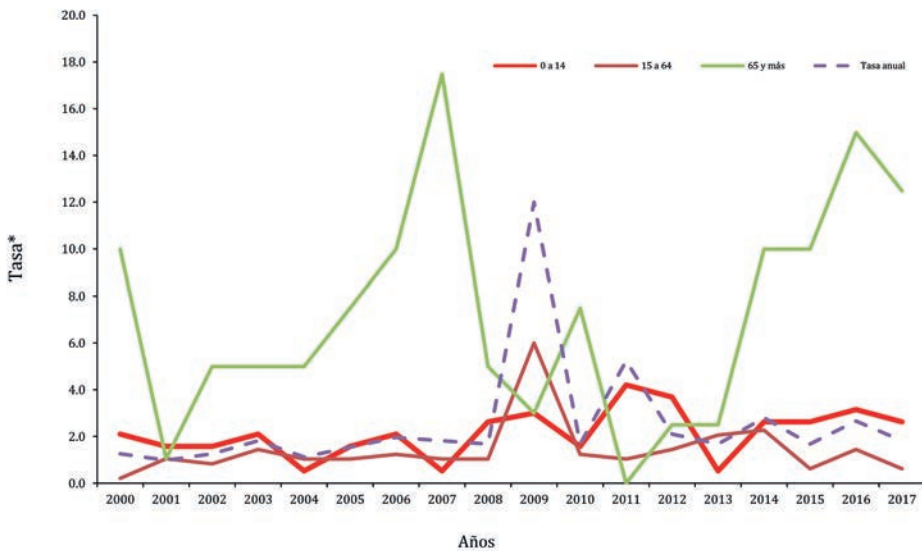


Figura 7.16. Comparativo de Tasas* de Mortalidad de Leucemia aguda entre menores de edad en la localidad de Hermosillo, 2000 al 2016**

Fuente: Cubos dinámicos/ SINAVE *Tasa por cada 100,000 habitantes de la localidad de Hermosillo, **Cierre anual de cada año.

7.4. Conclusiones

Este es un estudio pionero en el diagnóstico de salud ambiental, que va integrando los diferentes riesgos ambientales a los que se enfrenta el ser humano en medio de la industrialización y el pujante desarrollo tecnológico, sin advertir el impacto en la salud, en el núcleo de población de Hermosillo. Hace falta todavía diseñar mecanismos de cruce de información entre las variables que miden la calidad del ambiente y los indicadores de salud. No podemos afirmar que los casos que componen las tasas de morbimortalidad se deben a la contaminación exclusivamente, pero es innegable su asociación con la mala calidad del ambiente. Por ejemplo, diversos estudios atribuyen 8% de los casos a la contaminación atmosférica, lo que hace indispensable que se realicen más estudios, con diseños epidemiológicos que permitan identificar la causa efecto (ONU, 2019).

Los residuos sólidos o municipales tienen que transitar hacia nuevos controles, en vistas de reducir el impacto que tienen sobre los diferentes cánceres estudiados, ya que las enfermedades que se han registrado, como el cáncer de células claras de vagina, es una muestra de este efecto.

La OMS, desde 2013, ha generado documentos que sustentan “Salud en todas las políticas (HiAP)”, es decir, un enfoque para la formulación de políticas que considera sistemáticamente las implicaciones sanitarias de las decisiones en todos los sectores, en busca de sinergias y evitando los efectos nocivos para la salud de las políticas fuera del sector de la salud, con el fin de mejorar la salud de la población y la equidad sanitaria (Stone, 2015). Con ello, se busca conjuntar mejores esfuerzos en el bienestar del ser humano, al trabajar en equipo para ambientes cada vez más saludables.

7.5. Bibliografía

- Álvarez-Castelló, M., Castro-Almarales, R., Abdo-Rodríguez, A., Orta-Hernández, S. D. (2008). Infecciones respiratorias altas recurrentes. Algunas consideraciones. *Revista Cubana de Medicina General Integral*, 24, 50-55.
- Arauz, A. (2012). Enfermedad cerebrovascular. *Revista de la Facultad de Medicina de la UNAM*, 11-21.
- ATS. (2005). Enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC). *American Journal Respiratory Critical Care Medicine*, 171, P3-P4.

- Avendaño, C., & Amaya, P. (2017). Molecular characterization of *Cryptosporidium parvum* and *Cryptosporidium hominis* GP60 subtypes worldwide. *Rev.MVZ Córdoba*, 22(3), 6339-6354. doi: 10.21897/rmvz.1138
- Babatola, S. (2018). Global burden of diseases attributable to air pollution. *J Public Health Afr*, 9(813), 166-9.
- Cakmak, S., Hebborn, C., Vanos, J., Lawson-Crouse, D., & Tjepkema, M. (2019). Exposure to traffic and mortality risk in the 1991–2011 Canadian Census Health and Environment Cohort (CanCHEC). *Environmental International*, 124, 16-24.
- Cárdenas-Moreno, P. R., Robles-Martínez, F., Colomer-Mendoza, F. J., & Piña-Guzmán, A. B. (2016). Herramientas para la evaluación de riesgos sobre el ambiente y salud, por la disposición final de residuos sólidos urbanos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 32(Esp), 47-62.
- Downward, G. (2018). Long-Term Exposure to Ultrafine Particles and Incidence of Cardiovascular and Cerebrovascular Disease in a Prospective Study of a Dutch Cohort. *Environ Health Perspect*, 126(12), 127007. doi: 10.1289/EHP3047
- Ferrís i Tortajada, J., García i Castell, J., López-Andreu, J. A., & Berbel-Tornero, O. (1999). Factores de riesgo para las leucemias agudas infantiles. *Anales Españoles de Pediatría*, 50(5), 439-46.
- GBD 2015 Risk Factors Collaborators, (2016). Global, regional and national comparative risk assessment of 79 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or cluster of risks, 1990-2015: a systematic analysis of the Global Burden of Disease Study 2015. *Lancet*, 388, 1659-1724.
- Gordillo-Corzo, R., Gómez-Montoya, L., Cifuentes, R. H., Lamuña-Encorrada, M., & Pérez-Cruz, R. (2002). Enfermedad pulmonar obstructiva crónica. *Revista de la Asociación Mexicana de Medicina Crítica y Terapia Intensiva*, 16(6), 201-210.
- Gouveia, N., Prado-Corallo, F., Ponce de León, A. C., Junger, W., & Umbelino-De Freitas, C. (2017). Air pollution and hospitalizations in the Brazil. *Revista de Saúde Pública*, 51, 117. <https://doi.org/10.11606/S1518-8787.2017051000223>

- Guarnieri, M., & Balmes, J. R. (2014). Outdoor air pollution and asthma. *Lancet*, 383, 1581-92.
- Hamra, G., Guha, N., Cohen, A., Laden, F., Raaschou-Nielsen, O., Samet, J. M., Vineis, P., Forastiere, F., Saldiva, P., Yorifuji, T., & Loomis, D. (2014). Outdoor Particulate Matter Exposure and Lung Cancer: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Environmental Health Perspectives*, 122(9), 906-911.
- Heyman, D. L. (2011). *El control de las enfermedades transmisibles* (19 ed., 865 pp.). USA: American Public Health Association.
- López-Blanco, J., & Rodríguez-Gamiño, M. L. (2009). *Desarrollo de Indicadores Ambientales y de Sustentabilidad* (197 pp.). México: UNAM.
- Manzanares, J. L. (2016). Calidad de los recursos hídricos en el contexto de la actividad económica y patrones de salud en Sonora, México. *Salud Colectiva*, 12(3), 397-414.
- Mendoza-Mendoza, A., Romero-Cancio, J. A., Peña-Ríos, H. D., & Vargas, M. H. (2001). Prevalencia de asma en niños escolares de la ciudad mexicana de Hermosillo. *Gaceta Médica Mexicana*, 137(5), 397-401.
- Navarro-Navarro, M., Robles-Zepeda, R. E., Garibay-Escobar, A., & Ruiz-Bustos, E. (2011). *Escherichia coli* y *Klebsiella pneumoniae* comunitarias y hospitalarias productoras de β -lactamasas en hospitales de Hermosillo, Sonora. *Salud Pública de México*, 53, 341-4.
- OMS. (2014). Boletín de la Organización Mundial de la Salud. Recuperado de www.who.int/es/
- ONU. (2019). El aire contaminado es un “asesino silencioso”. Noticias ONU. Recuperado de <https://news.un.org/es/story/2019/03/1452171>
- OPS. (2003). De la teoría a la práctica: Indicadores de Salud Ambiental Infantil. Implementación de una iniciativa lanzada en la Cumbre del Desarrollo Sostenible (24 pp.). USA: Organización Panamericana de la Salud.
- Ortega, M. (2007). Leucemia linfoblástica aguda. *Medicina Interna de México*, 23(1).
- Petrovic, M., Sremacki, M., Radonic, J., Mihajlovic, I., Obrovsky, B., Vojinovic-Miloradov, M. (2018). Health risk assessment of PAHs, PCBs

- and OCPs in atmospheric air of municipal solid waste landfill in Novi Sad, Serbia. *Sci Total Environ.*, 10(644), 1201-1206.
- Prüs-Ustün, A., Wolf, J., Corvalán, C., Bos, R., & Neira. (2016). *Preventing disease through healthy environments. A global assessment of the burden of disease from environmental risks* (147 pp.). Switzerland: World Health Organization.
- Puentes, I. (2014). Epidemiología de las enfermedades cerebrovasculares de origen extracraneal. *Revista Cubana de angiología y cirugía vascular*, 15(2). Recuperado de www.medigraphic.com/pdfs/revcubangcsirvas/cac-2014/cac142b.pdf
- Pyatt, D., & Hays, S. (2010). A review of the potential association between childhood leukemia and benzene. *Chemico-Biological Interactions*, 184, 151-64.
- Regalado-Pineda, J., & Vargas, M. H. (2005). Epidemiología del Asma. Capítulo 1. En J. Salas-Hernández, R. Chapela-Mendoza, & M. H. Vargas, *Asma. Enfoque Integral para Latinoamérica*. México: Ed. McGraw-Hill.
- Rosas-Peralta, M., Palomo-Piñón, S., Borrayo-Sánchez, G., Madrid-Miller, A., Almeida-Gutiérrez, E., Galván-Oseguera, H... Paniagua-Sierra, R. (2016). Consenso de Hipertensión Arterial Sistémica en México. *Rev Med Inst Mex Seguro Soc*, s6-s56.
- Rothwell, C., Hamilton, C., & Leaverton, P. (1991). Identification of sentinel health events as indicators of environmental contamination. *Environmental Health Perspectives*, 94, 261-263.
- Sánchez-Zafra, A. (2008). Efectos de los trihalometanos sobre la salud. *Higiene y Sanidad Ambiental*, 8, 280-90.
- Sardiñas-Peña, O., Trujillo, C., García-Melián, M., & Fernández-Novo, M. (2001). Evaluación de riesgos para la salud por exposición a residuos peligrosos. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 39(2), 144-146.
- Siddique, S., Banerjee, M., Ray, M., & Lahiri, T. (2010). Effect of Air Pollution on Incidence of Asthma: A Case Study in Children. *Environ We Int J Sci Tech*, 5, 163-175.
- Stone, V. (2015). *Health in All-Policies: Training Manual* (250 pp.) Italia: WHO.

- Suk, W., Ahanchian, H., Ansong-Asante, K., Carpenter, D., Díaz-Barriga, F., Ha, E. H., Huo, X., King, M., Ruchirawat, M., Da Silva, E., Sly, L., Sly, P., Stein, R., Van den Berg, M., Zar, H., & Landrigan, P., (2016). Environmental Pollution: An under-recognized threat to children's health, especially in low- and middle-income countries. *Environmental Health Perspectives*, 124(3), A41-5. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.1510517>
- Tonne, C. (2017). A call for epidemiology where the air pollution is. *Lancet Planetary Health*, 1, e355-6.
- Velázquez-García, M. A. (2009). *Las luchas verdes. Los movimientos ambientalistas de Tepoztlán, Morelos, y el Cytrar en Hermosillo, Sonora*. México: El Colegio de Sonora.
- WHO. (2018). 2018 Global reference list of 100 core health indicators (plus health-related SDGs). Geneve, Sw: World Health Organization.

Conclusiones generales

Héctor Duarte Tagles

El Diagnóstico de Salud Ambiental del Centro de Población de Hermosillo es un estudio pionero en su género a nivel local, ya que busca integrar el conocimiento existente sobre las condiciones imperantes en el ambiente de la ciudad, que pueden representar un riesgo para la salud de los pobladores. Los tres componentes ambientales descritos implican una oportunidad de conocer las condiciones que se pueden mejorar para impactar positivamente en el bienestar de los habitantes de Hermosillo. Esto representa, en sí, un avance importante, tal como lo señaló el Director General de la OMS, Tedros Ghebreyesus: “los servicios de saneamiento [ambiental] no solo contribuyen a la salud de las personas y a salvarles la vida, sino que son fundamentales para que nuestras sociedades sean más estables, prósperas y seguras” (OPS, 2019).

Sin embargo, no se puede soslayar que el abordaje de esta investigación impone ciertas limitaciones a su naturaleza documental y al análisis secundario de la información original. Su principal limitación es el alcance del diagnóstico, ya que por razones de tiempo y de presupuesto, esta parte del estudio abordó solamente los componentes de agua, aire y residuos municipales, únicamente del área urbana y suburbana, dejando por fuera del estudio al área rural. Tampoco podemos afirmar que los casos constitutivos de las tasas de morbilidad se deben exclusivamente a la contaminación existente en los tres componentes ambientales, pero es innegable su asociación con la mala calidad del ambiente.

Por lo tanto, se sugiere extender el diagnóstico no solo geográficamente para tener una evaluación de todo el municipio, sino incluir otros componentes ambientales que son relevantes para la salud, a saber: los desastres naturales y antropogénicos, el cambio climático, las sustancias químicas y radioactivas, la biodiversidad y áreas verdes, así como los factores psicosociales. Los efectos del cambio climático en la salud, por ejemplo, son una realidad verificada en diversos estudios que es menester incluir, ya que se ha comprobado que los cambios en el patrón del clima a escala estacional, impactan como consecuencia en los patrones epidemiológicos también (Falcón-Lezama, & González-Fernández, 2018).

La metodología aplicada en el Diagnóstico de Salud Ambiental del Centro de Población de Hermosillo guarda mucha similitud con la utilizada para la estimación retrospectiva de Evaluaciones de Impactos a la Salud (HIA por sus siglas en inglés), solo que, en vez de enfocarse a un programa, política o proyecto en particular, el objetivo se centró geográficamente en una ciudad durante un periodo definido de tiempo (Joffe, & Mindell, 2005).

Para fines de mayor uso y aplicación, será importante complementar este primer abordaje con métodos de evaluación de riesgos, tal como el Análisis Comparativo de Riesgos²⁴ (ACR), desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US-EPA, por sus siglas en inglés). Este método permitiría no solo identificar los riesgos ambientales más importantes que afectan la salud, sino también jerarquizarlos con base en las condiciones de una comunidad, cuantificando para ello el efecto de la exposición a los peligros ambientales y estableciendo criterios de comparación con otros factores de riesgo análogos. Sin embargo, una limitante de este método es su alta dependencia en datos de monitoreo ambiental y epidemiológico suficientes, de lo contrario las estimaciones estarían incompletas (Evans et al., 2003). Una metodología casi homónima, la Evaluación Comparativa de Riesgos (*Comparative Risk Assessment*), ha sido utilizada por la OMS en el proyecto mundial sobre la Carga Global de Enfermedades, con el fin de comparar entre países los riesgos de presentar distintas enfermedades y lesiones en sus respectivas poblaciones, incluyendo aquellas de origen ambiental. Esto, sin duda, aumentaría

²⁴ Esta metodología ha formado parte de la metodología de análisis de riesgos propuesto por la US-EPA desde finales de 1980. Actualmente se le identifica formando parte de la Evaluación de Riesgos Ecológicos. Para mayor información consulte la siguiente página: <https://www.epa.gov/risk/ecological-risk-assessment>

la comparabilidad de los resultados a nivel mundial, aunque implicaría un esfuerzo mayor para incluir todos los factores pertinentes que permitan calcular los años de vida ajustados por discapacidad (DALY, por sus siglas en inglés) como medida del riesgo cuantificable (Smith, & Ezzati, 2005).

Por otro lado, en su informe de Salud Ambiental 2016, la OMS define los riesgos ambientales para la salud como “todos los factores físicos, químicos y biológicos externos a la persona, así como todas las conductas relacionadas, excluyendo aquellos ambientes naturales que no pueden ser razonablemente modificados” (Prüs-Ustün et al., 2016). Desde esta perspectiva, son muchos los factores que pudieran ser considerados en un diagnóstico de salud ambiental (por ejemplo, los factores de riesgo ocupacionales que están estrechamente vinculados con el ambiente), pero es importante, ante todo, construir indicadores de salud ambiental que permitan evaluar tanto el riesgo existente, como el éxito de las políticas públicas implementadas en este sentido. Definir indicadores ambientales precisos y adaptados localmente para una mejor interpretación de resultados, permitirá realizar evaluaciones de riesgos ambientales a la salud más objetivos y útiles para la toma de decisiones (Arbeláez-Montoya et al., 2010).

Sin embargo, Shutz y colaboradores(2008) advierten que el proceso de construcción de indicadores de salud ambiental, también se enfrenta a los retos de la “escasez de datos de calidad, la incertidumbre en el conocimiento de la estructura y las dinámicas de los ecosistemas, el déficit de la capacidad técnica instalada, la falta de recursos humanos debidamente capacitados, la inexistencia de series históricas para analizar la evolución de los indicadores, los altos costos y la falta de participación de la comunidad, entre otros”. Por eso no es de extrañar que en el presente trabajo también enfrentamos problemas en la recolección de datos, debido a la falta de información seriada históricamente, a la falta de voluntad de cooperación de la autoridad en turno, o debido a la ausencia de notificación de patologías y de monitoreo de la calidad del ambiente.

Las decisiones que impactan a la salud de las poblaciones deben basarse en información completa y veraz (Rooney et al., 2016), por lo tanto, es preocupante que la información en salud ambiental correspondiente al municipio de Hermosillo y su cabecera se encuentre dispersa, escasa y, en ocasiones, restringida. La información de calidad debe alimentar un sistema de gobernanza que permita incorporar de una manera más efectiva

los resultados de proyectos de investigación y los datos de monitoreo y vigilancia en salud ambiental (Finkelman et al., 2010). Riojas-Rodríguez y colaboradores (2013) proponen 8 líneas de acción a considerar en México para una buena gobernanza en salud ambiental, entre las que destacan la necesidad de elaborar diagnósticos de salud ambiental, fortalecer los sistemas de monitoreo y vigilancia en salud ambiental, así como fomentar una efectiva comunicación y rendición de cuentas en la materia.

Tomando en cuenta los resultados y la experiencia en esta fase del Diagnóstico de Salud Ambiental, se propone la creación de un **Observatorio de Salud Ambiental para el Municipio de Hermosillo**, el cual servirá tanto a los estudiosos de la materia como al público en general para conocer las condiciones ambientales que puedan afectar la salud humana de una manera objetiva, confiable y expedita, a la vez que se crea conciencia sobre la necesidad de conservar nuestro ambiente en mejores condiciones.

El Observatorio de Salud Ambiental de Hermosillo (OSAH) será un vínculo interactivo entre todos los actores que intervienen en la salud ambiental del municipio: autoridades, investigadores, activistas y público en general, además de un ejemplo en el estado y a nivel nacional. Deberá cumplir con las funciones de monitoreo, captura, evaluación, análisis y comunicación de salud ambiental, es decir, un sistema de vigilancia en salud ambiental integral, que promueva una gobernanza en salud ambiental efectiva y práctica, orientada al logro de los Objetivos del Desarrollo Sostenible (OPS, 2017).

El OSAH deberá basarse en un sistema de información geográfica flexible, que permita la inclusión de datos de factores de riesgo físicos, químicos, biológicos y psicosociales, actualizables en tiempo y espacio, considerando la dinámica natural y social de la comunidad (Solomon et al., 2016).

La salud ambiental sigue siendo una tarea pendiente a nivel mundial. Los problemas ambientales asociados a los problemas de salud siguen atendándose de manera desintegrada y poco efectiva. Solamente 15% de los planes para combatir el cambio climático que han enviado los países firmantes del Acuerdo de París del 2015, menciona a la salud como parte de los beneficios obtenidos de este esfuerzo (Figueres et al., 2018). Este trabajo pretende contribuir a direccionar integralmente los riesgos ambientales a la salud para mejorar el bienestar de la población.

8.1. Bibliografía

- Arbeláez-Montoya, M. P., Gosselin, P., Hacon, S., & Ruiz, A. (2010). Indicadores de salud ambiental para la toma de decisiones. Capítulo 7. En L. A. Galvao, J. Finkelman, & S. Henao (Eds.), *Determinantes ambientales y sociales de la salud* (570 pp.). Washington, USA: Organización Panamericana de la Salud.
- Evans, J., Fernández-Bremauntz, A., Gavilán-García, A., Ize-Lema, I., Martínez-Cordero, M. A., Ramírez-Romero, P., & Zuk, M. (2003). *Introducción al Análisis de Riesgos Ambientales* (122 pp.). México: INE-SEMARNAT.
- Falcón-Lezama, J., & González-Fernández, M. I. (2018). Enfermedades infecciosas en el contexto del cambio climático. *De Salud Pública*, 5-7.
- Figueres, C., Landrigan, P., & Fuller, R. (2018). Tackling air pollution, climate change, and NCDs: time to pull together. *Lancet*, 392, 1502-1503.
- Finkelman, J., Galvao, L. A., & Henao, S. (2010). Gobernanza de la salud ambiental en América Latina. Capítulo 3. En L. A. Galvao, J. Finkelman, & S. Henao (Eds.), *Determinantes ambientales y sociales de la salud* (570 pp.). Washington, USA: Organización Panamericana de la Salud.
- Joffe, M., & Mindell, J. (2005). Health Impact Assessment. *Occupational and Environmental Medicine*, 62, 907-12. doi: 10.1136/oem.2004.014969
- OPS. (2017). Agenda de Salud Sostenible para las Américas 2018-2030: un llamado a la acción para la salud y el bienestar en la región. 29ª Conferencia Sanitaria Panamericana. Washington, DC. USA.
- _____. (2019). Las deficiencias en los sistemas y la financiación comprometen el saneamiento y el suministro de agua potable en los países más pobres del mundo. Comunicado de prensa. 28 de agosto de 2019.
- Prüs-Ustün, A., Wolf, J., Corvalán, C., Bos, R., & Neira, M. (2016). *Preventing disease through healthy environments. A global assessment of the burden of disease from environmental risks* (147 pp.). Switzerland: World Health Organization.
- Riojas-Rodríguez, H., Schilman, A., López-Carrillo, L., & Finkelman, J. (2013). La salud ambiental en México: situación actual y perspectivas futuras. *Salud Pública de México*, 55, 638-649.

- Rooney, A., Cooper, G., Jahnke, G., Lam, J., Morgan, R., Boyles, A., Ratcliffe, J., Kraft, A., Schünemann, H., Schwingl, P., Walker, T., Thayer, K., & Lunn, R. (2016). How credible are the study results? Evaluating and applying internal validity tools to literature-based assessments of environmental health hazards. *Environmental International*, 92-93, 617-629.
- Schütz, G., Hacon, S., Silva, H., Moreno-Sánchez, A. R., & Nagatani, K. (2008). Principales marcos conceptuales aplicados para la evaluación de la salud ambiental mediante indicadores en América Latina y El Caribe. *Rev Panam Salud Pública*, 24(4), 276-85.
- Smith, K., & Ezzati, M. (2005). How environmental health risks change with development: The epidemiologic and environmental risk transitions revisited. *Annual Review of Environmental Resources*, 30, 291-333.
- Solomon, G., Morello-Frosch, R., Zeise, L., & Faust, J. B. (2016). Cumulative Environmental Impacts: Science and Policy to Protect Communities. *Annual Review of Public Health*, 37, 83-96.

9

Anexos

Cédulas de registro para búsqueda extensiva elaboradas en formato *Excel* de:

9.1. Calidad del agua

