

Geografía del cáncer de mama en México

Recibido: 18 de agosto de 2016. Aceptado en versión final: 1 de febrero de 2017.
Publicado en línea (versión e-print): 19 de abril de 2017

María del Rocío Castrezana Campos*

Resumen: Esta investigación se orientó a localizar y cartografiar las regiones geográficas dónde se han presentado con mayor incidencia los casos de cáncer de mama entre la población femenina de México. Se analizaron los factores geográficos predominantes para establecer si la relación entre estos y los diferentes aspectos ambientales pueden condicionar la presencia y el desarrollo de dicha neoplasia. La delimitación se sustentó en el análisis de las estadísticas de las tasas de mortalidad y morbilidad a partir del año 2000. Esto permitió seleccionar ciento veinte municipios donde constantemente se han incrementado los valores de estas variables. En los municipios objetivo se revisó el comportamiento de las variables elegidas: aguas superficiales contaminadas, aguas subterráneas contaminadas (acuíferos), suelos contaminados, afectación de la calidad del aire por la actividad de las plantas termoeléctricas y de la industria

contaminante. La metodología se basó en el análisis espacial y estadístico de las variables señaladas, completándose con la aplicación de los modelos de regresión múltiple en los municipios de ocurrencia, considerando los datos estadísticos de cáncer de mama y de las variables seleccionadas, resultando positiva esta relación en tres de las variables del estudio: industrias, acuíferos y suelos contaminados, por lo que se concluye que la conjunción de diversos factores contaminantes en un mismo lugar dan como resultado un presencia más acentuada de esta enfermedad en espacios específicos de México, lo que puede ayudar a focalizar la aplicación de políticas públicas para la prevención y atención de este padecimiento.

Palabras clave: cáncer de mama, contaminación ambiental, desechos tóxicos, análisis espacial, mortalidad, México.

The geography of Mexico breast cancer

Abstract: This research was aimed at locating and mapping the geographical regions where the cases of breast cancer among the female population of Mexico have been most prevalent, analyzing the predominant geographic factors and establishing if the relationship between these and the different environmental aspects may be conditioning the presence and development of this neoplasm. The delimitation was based primarily on the analysis of the temporal evolution of mortality and morbidity rates of this disease since 2000, by state, which allowed the identification of twelve entities that sustained the highest rates throughout twelve years, as well as the municipalities where the most relevant data of this disease were recorded during that period. Likewise, the twelve states with the lowest rates were

delimited in this respect, to review which municipalities of these states presented the most significant mortality and morbidity data and to review in the subsequent analysis, the coincidences or divergences presented by both antagonistic spaces. In total, one hundred twenty municipalities were selected for the analysis of environmental factors that have been identified in various sources as potential sources of risk in the development of breast cancer. The variables analyzed are: contaminated surface waters, contaminated soils, contaminated groundwater, polluting industries and air pollution from thermoelectric plants and how they have been spatially and statistically expressed in the target municipalities. The methodology was based on the analysis of the spatial behavior of the variables indicated and

* Posgrado en Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, Instituto de Geografía, UNAM. Correo electrónico: rociocastrezana1@yahoo.com.mx

was complemented with the application of the multiple regression models in the target or occurrence municipalities. Considering the statistical data of breast cancer and the selected variables, the relationship resulted positive in three variables: industries, contaminated groundwater and contaminated soils.

Some of the most relevant results were: First, according with the indicators currently used by the National Water Commission (CONAGUA) regarding the severely contaminated water surface: five-day biochemical oxygen demand (BOD5), chemical oxygen demand (DQO) and The total suspended solids (SST), coincided the presence of them in seventy-four of the target municipalities that equal 61.6%. Second, by analyzing the COD index separately, as it shows contamination by industrial discharges and agricultural activity, it turned out that eighty-six sites (74%) contaminated with this indicator of a total of 116 points recorded by CONAGUA are located in the Municipalities. Concerning the presence of groundwater (aquifers) contaminated mainly with nitrates in concentrations greater than 45 mg / l; in the counts of spatial analysis, it is observed that in seventy-five of the target municipalities (65%), this variable is present. Another relevant result was to review the location of thermoelectric plants generating electric energy that run on fuels that affect air quality such as fuel oil, coal and diesel, all three generate carcinogenic elements when they combust. In this case of the total of the eighty-four thermoelectric plants operating in the country, fifty-eight (69%) are located in thirty-nine of the target municipalities (32.5%). And of the total number of polluting industries that operate in the

country, only five (4.1%) of the target municipalities did not have this type of industry, so this variable was very significant in the study areas. Finally, the presence of sites contaminated with hazardous wastes (RP), resulting from wastes generated by the mining, basic chemistry, petrochemical, oil refining and agribusiness industries, were also present in 112 (93.3%) of the target municipalities.

It is concluded that it was relevant to delimit the main spaces where breast cancer has developed during the last twelve years, since this allowed the application of the physical variables to be able to identify several risk factors that have converged in them, a situation that can, possibly explain, in part, the presence of this neoplasm among the female population of certain regions of Mexico.

This is of importance if one considers that the World Health Organization attributes to environmental factors as the cause of the development of more than eighty percent of the cancers that occur in the world, mainly lung and breast cancer.

This analysis makes it possible to focus and implement public policies aimed at the prevention and detection of women who are currently exposed to the risk factors described in the study and in the designation of resources for the treatment and care of the population that already suffers this disease. The later, considering that breast cancer is currently a serious public health problem, due to the marked increase registered in this cancer among Mexican women every year.

Keywords: breast cancer, environmental pollution, toxic wastes, spatial analysis, mortality, Mexico.

INTRODUCCIÓN

La Organización Mundial de la Salud (OMS) considera al cáncer de mama como uno de los padecimientos predominantes a nivel mundial. De 2003 a 2010 se diagnosticaron con este tipo cáncer 4.4 millones de mujeres, cifra que incluso podría resultar subestimada (OMS, 2012).

Existe un registro promedio de 1.38 millones de mujeres con el diagnóstico confirmado de cáncer de mama, el 23% de los seis millones de cánceres malignos que anualmente se presentan en mujeres en todo el mundo (OMS, 2014). El cáncer mamario representa el 10.5% de los nuevos casos de cáncer, tanto en hombres como mujeres, y solo lo supera el cáncer de pulmón (Beaulieu, 2009).

En México, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) dio a conocer el 19 de octubre de 2014 algunas estadísticas relevantes a propósito del “Día mundial de la lucha contra el cáncer de mama”. Destacó que la principal causa de morbi-

lidad en mujeres de 20 años y más se debe a esta neoplasia e, igualmente, es la segunda causa de mortalidad en las mujeres comprendidas en este rango de edad (INEGI, 2014). Cada nueve minutos se detecta un nuevo caso y existen más de 60 000 mujeres de 14 años y más con este padecimiento (Hoy Saludable, 2011). También el Programa de Acción Cáncer de Mama de la Secretaría de Salud indicó que el rango de edad predominante de las mujeres con esta neoplasia se amplió a partir de 2006, pasando de 45 a 60 años de edad, al de mujeres de 14 años y más. Asimismo, se ha convertido en la principal causa de decesos por procesos tumorales, superando al carcinoma cérvico uterino a partir de dicho año (SS, 2002).

El comportamiento del cáncer de mama en un periodo tan corto lo ha convertido en uno de los principales problemas de salud pública, ya que puede afectar a un importante rango de la población femenina en edad productiva (20 a 59 años), que representa el 27% de la población total del país,

de acuerdo con los datos del Censo General de Población y Vivienda 2010, (INEGI, 2010).

El Sistema Nacional de Información de Salud (SINAIS) reportó 5 010 casos nuevos en 2010, (SINAIS, 2010), según el registro de egresos hospitalarios aportados por las diferentes instituciones de salud pública del país: Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), Instituto de Seguridad y Servicios Sociales para los Trabajadores del Estado (ISSSTE), Petróleos Mexicanos (PEMEX), Secretaría de Marina (SEMAR) y Secretaría de Salud (SS).

METODOLOGÍA

Este trabajo tiene como objetivo relacionar la presencia del cáncer de mama en determinados espacios geográficos con la confluencia de variables ambientales y socioeconómicas que han provocado contaminación de diversas formas y niveles. La hipótesis a comprobar es que México presenta factores y diferencias territoriales, de contaminación ambiental y socioeconómicas, que pueden condicionar el desarrollo de cáncer de mama en proporciones cada vez mayores entre la población femenina a partir de los de 14 años (independientemente de la predisposición genética para desarrollarlo), por lo que se pueden delimitar los espacios geográficos con mayor presencia de esta neoplasia y analizar el comportamiento de los principales factores de riesgo que probablemente han provocado su incremento. Para tal efecto se procedió a lo siguiente:

- Se realizó la revisión y análisis, desde el punto de vista de la estadística descriptiva, de la información aportada por las diferentes dependencias oficiales de salud, a nivel federal, estatal y municipal, de la población con cáncer de mama del año 2000 al 2012.
- Se analizó la información estadística de los diversos productos del INEGI: Atlas digital, censos de población y los cubos de información para el análisis y cruce de variables, como las tasas de mortalidad y morbilidad, las actividades económicas de las afectadas, lugar de incidencia, entre otros.
- Se conformó una base de datos a partir de la información obtenida del Sistema Único de

Información para la Vigilancia Epidemiológica (SUIVE), del SINAIS de la Secretaría de Salud (SS) y los registros administrativos del INEGI, para conocer la tendencia del comportamiento del cáncer de mama a nivel estatal y municipal.

- Se cartografiaron los veinticuatro estados y los ciento veinte municipios donde se han dado de manera sostenida las tasas más altas y más bajas de mortalidad y morbilidad y los totales de mortalidad por cáncer de mama en el periodo 2000-2012.
- Se realizó el análisis espacial del comportamiento de las variables seleccionadas, que la literatura consultada destaca como posibles factores de riesgo para el desarrollo del cáncer de mama y para fortalecer la relación entre dichas variables con la presencia de esta enfermedad en los municipios objetivo. Para ello se aplicó también el modelo de regresión multivariada (MRM).

El modelo de regresión multivariada (Rodríguez *et al.*, 2001) se emplea para la obtención de un indicador de multi-correlaciones. En los aspectos de salud resulta de utilidad debido a su capacidad para determinar las asociaciones multicausa-efecto. En la presente investigación el cálculo del modelo de regresión (lm) multivariada se realizó con el programa Rstudio, versión 3.3.0 (03-05-2016).

Para determinar los casos de mortalidad por cáncer de mama se consideraron las variables siguientes: cantidad de acuíferos contaminados, ríos contaminados y, por separado, el indicador DQO (demanda química de oxígeno) de sitios de muestreo de la Comisión Nacional del Agua, CONAGUA (CONAGUA, 2014), contaminación química en suelos, residuos peligrosos, zonas contaminadas por la actividad minera, plantas termoeléctricas e industria química; todas las variables fueron calculadas para los 120 municipios seleccionados.

Al desarrollar un modelo de regresión múltiple con las ocho variables mencionadas, únicamente tres presentaron un valor estadísticamente significativo: acuíferos, suelos e industria. Con las variables consideradas se explica en un 19.33% la ocurrencia de cáncer de mama por contaminantes. Aun cuando los resultados obtenidos son estadís-

Cuadro 1. Resultados del modelo de regresión multivariada (MRM).

Coeficientes:					
	Std.	Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	211.987	52.649	4.026	0.000104	***
ACUI	88.047	42.231	2.085	0.039374	*
RIOS	-37.947	71.383	-0.532	0.596067	Valor no significativo
IDQO	8.374	37.313	0.224	0.822849	Valor no significativo
SUELO	-91.327	44.016	-2.075	0.040310	*
RP	-7.501	95.113	-0.079	0.937282	Valor no significativo
MINA	-1.365	3.555	-0.384	0.701843	Valor no significativo
PLANTA	93.192	51.354	1.815	0.072270	Valor no significativo
INDUS	5.309	1.498	3.544	0.000578	***

Fuente: Rodríguez et al., 2001.

ticamente bajos, se incorporaron para una mejor comprensión de la mortalidad de esta enfermedad, debido a que este trabajo tiene por objetivo identificar qué porcentaje explicativo tienen las condiciones contaminantes presentes en determinados espacios con respecto al cáncer mamario, situación que se fortaleció cuando se analizaron también otras variables sociales y económicas, motivo de otra investigación.

Las variables que resultaron tener una relación con la presencia de esta neoplasia, una vez aplicada dicha metodología, fueron: las aguas subterráneas contaminadas (ACUI); los suelos contaminados (SUELO) y las industrias contaminantes (INDUS). También hubo relación con tres variables sociales que se analizaron en un trabajo más amplio.

Variables contaminantes y ocurrencia de cáncer de mama

```
> with(datcama, lm(OCC ~ ACUI + RIOS + IDQO + SUELO + RP + MINA + PLANTA + INDUS)) -> LM1
> summary(LM1)
```

datcama= datos de cáncer de mama

Lm = modelo lineal

OCC ~ = cantidad de ocurrencia a nivel municipal, que depende de las variables que se presentan enfrente.

Call:

```
lm(formula = OCC ~ ACUI + RIOS + IDQO +
```

SUELO + RP + MINA + PLANTA + INDUS)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-924.53	-179.54	-88.56	83.12	2081.94

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Signif. Codes: Prueba de significación igual o menor al 0.05 para rechazar la hipótesis nula, la que dice: "que no pasa nada".

Residual standard error: 372.9 on 111 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.2475,

Adjusted R-squared: **0.1933** porcentaje que explican las variables al cáncer de mama.

0.1933: Valor de R. correlación

Va de 0 a 1

0 asociación nula

0.1 a 0.3 asociación baja

0.2 a 0.6 asociación media

0.7 a 1.0 asociación alta

F-statistic: 4.564 on 8 and 111 DF, p-value: 7.912e-05

7.912e-05: Valor p, para considerar que los resultados son estadísticamente significativos, debe ser menor a 0.05, en este caso expresado exponencial igual a 0.00007912.

Fundamentos teórico-conceptuales

Como parte de las áreas de conocimiento abarcadas por la ciencia geográfica en el tiempo, se cuenta con estudios de los efectos que en la salud humana han causado los múltiples componentes del medio natural, así como los procesos antropogénicos que han modificado o alterado dicho entorno; esto ha dado como resultado efectos no solo sobre la biodiversidad sino también en la salud de la población. Y son los especialistas en Geografía Médica quienes llevan a cabo los diagnósticos e interpretaciones de esas relaciones del medio ambiente con la salud humana. Esta tarea la realizan mediante la observación y el estudio de la aparición, existencia y evolución de enfermedades con comportamientos atípicos, el análisis de los diferentes componentes donde se dan, su ubicación y su evolución espacial y temporal:

“la Geografía Médica parte de la premisa de que el ser humano siempre forma parte de agrupaciones sociales amplias. Estas sociedades crean un entorno social y físico mediante procesos de transformación de sus propias estructuras sociales y de la superficie terrestre en la que se asientan. Estas transformaciones se deben a procesos económicos, políticos, culturales y demográficos que culminan influenciando la condición de salud de una población dada” (Seguinot, 2012:3).

En el estudio de esta relación medio ambiente-salud, la Geografía Médica se divide en Geografía Patológica, que atiende los vínculos entre los seres vivos y los sistemas ambientales donde radica, cuando se ve afectada la salud de los primeros por dicha relación, y la Nosogeografía, que estudia cómo se distribuye o propaga un padecimiento y qué condiciones geográficas han favorecido su evolución y difusión (Guerrero, 2011).

Es desde esta perspectiva conceptual que se aborda un padecimiento grave como el cáncer de mama; se revisa su comportamiento temporal y espacial y se diagnostican las posibles causas o factores ambientales que pueden incidir en la afectación de la salud de las mujeres mexicanas a causa de tal enfermedad.

Las variables utilizadas, en primera instancia, para realizar el análisis espacial y estadístico para relacionarlas con la presencia de cáncer de mama fueron: las tasas de mortalidad y morbilidad más altas y el total de defunciones debido al cáncer de mama presentes entre la población femenina de 14 años y más por estado. El análisis de la evolución temporal de estas variables, a partir del año 2000, obtenidas de las principales instituciones de salud y del INEGI (SUIVE, SS, INEGI, 2000-2010), permitió identificar y delimitar las doce entidades que, de manera sostenida, presentaron las tasas más altas a lo largo de doce años, así como los municipios donde se registraron los datos más relevantes de este padecimiento en el mismo periodo, destacando los estados de Baja California Sur, Sonora, Chihuahua, San Luis Potosí, Jalisco y Nuevo León. También se seleccionaron los doce estados con las tasas más bajas al respecto, para determinar qué municipios de estas entidades federativas presentaron los datos de mortalidad y morbilidad más significativos y encontrar, en un análisis posterior, las coincidencias o divergencias que presentaron ambos espacios antagónicos (véanse figuras 1, 2, 3 y 4). Las entidades que se desatacaron por tener los datos menos significativos son Oaxaca, Chiapas y Quintana Roo¹ (Figura 5).

En total se seleccionaron ciento veinte municipios donde se realizó el análisis de diversos factores ambientales, que se han señalado en diversas fuentes² como posibles factores de riesgo en el desarrollo del cáncer de mama (Figura 6).

¹ Al hacer esta discriminación, para la comparación entre ambas regiones, quedaron fuera del análisis ocho entidades, lo cual no significa que en ellas no esté presente esta enfermedad entre la población femenina, pero al ser uno de los objetivos de este estudio el análisis de ambas regiones antagónicas, inevitablemente se tuvieron que descartar aquellas con estadísticas intermedias.

² Principalmente las que señala la OMS en su nota descriptiva No. 297, actualizada en febrero de 2015, donde destaca que entre algunos de los elementos cancerígenos están el arsénico presente en el agua o los asbestos, y los componentes del humo de tabaco.

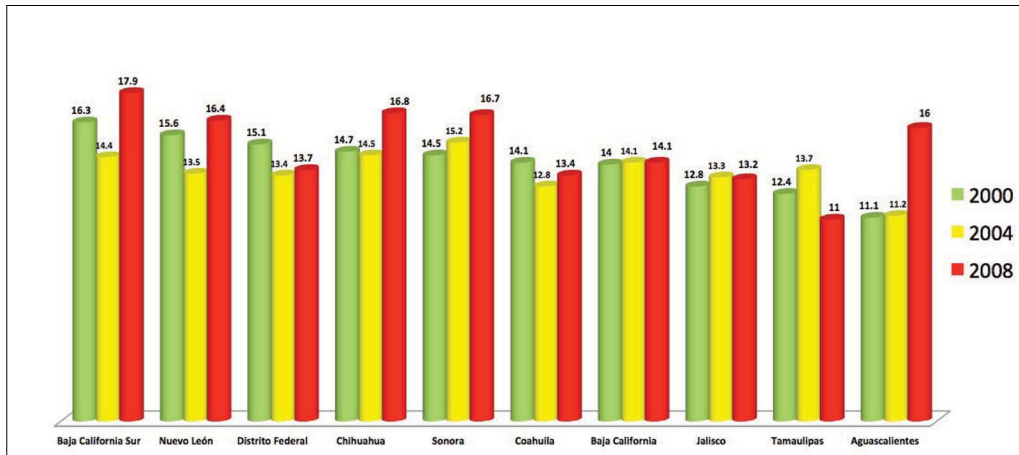


Figura 1. Estados que registraron de manera sostenida las tasas más altas de mortalidad por cáncer de mama 2000-2008.

Fuente: Secretaría de Salud/Dirección General de Información en Salud. Elaborado a partir de la base de datos de defunciones 1979-2008 INEGI/SS; Proyecciones de la Población de México 2005-2050 y proyección retrospectiva 1990-2004. CONAPO 2006.

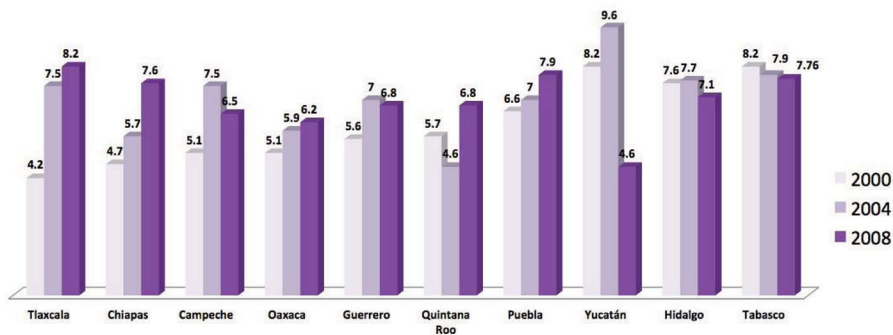


Figura 2. Estados que registraron de manera sostenida las tasa más bajas de mortalidad de 2000 a 2008

Fuente: Secretaría de Salud/Dirección General de Información en Salud. Elaborado a partir de la base de datos de defunciones 1979-2008 INEGI/SS; Proyecciones de la Población de México 2005-2050 y proyección retrospectiva 1990-2004. CONAPO 2006.

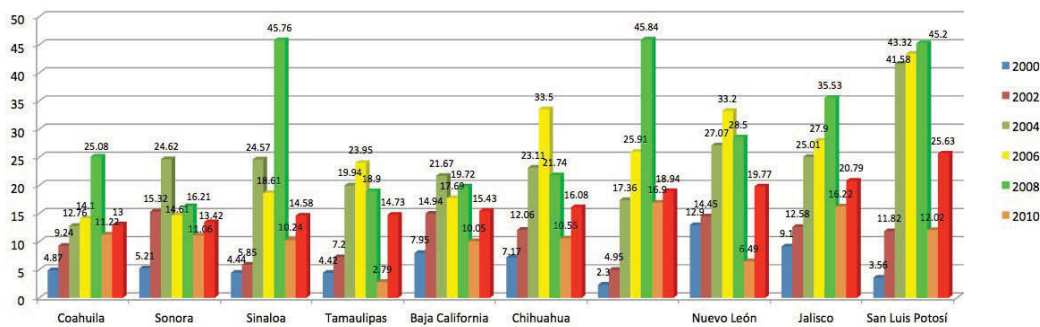


Figura 3. Estados que presentaron de manera sostenida durante el periodo de 2000-2010 las tasas más altas de morbilidad por cáncer de mama.

Fuente: SUIVE-SS-1-2000, Sistema Único de Información y Vigilancia Epidemiológica/ Dirección General de Epidemiología/ SSA, 2000-2010

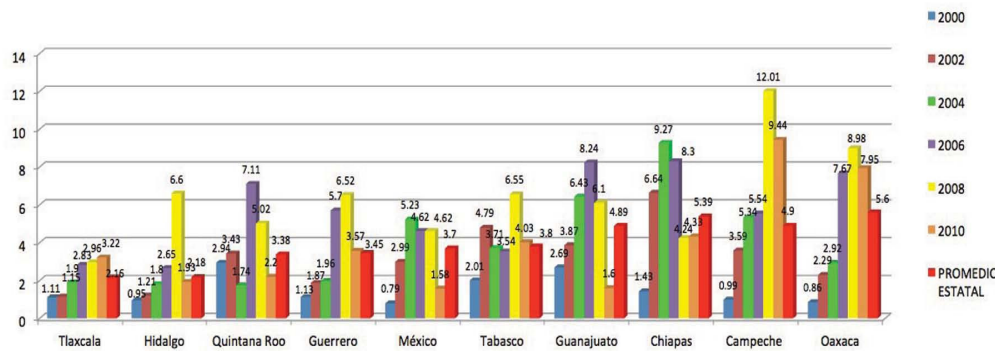


Figura 4. Estados que presentaron de manera sostenida durante el periodo de 2000-2010 las tasas más bajas de morbilidad por cáncer de mama.

Fuente: SUIVE-SS-1-2000, Sistema Único de Información y Vigilancia Epidemiológica/ Dirección General de Epidemiología/ SSA, 2000-2010



Figura 5. Delimitación de los estados donde se ubicaron las tasas más altas y bajas de mortalidad y morbilidad (2000-2010).

Fuente: INEGI, SS Y SUIVE

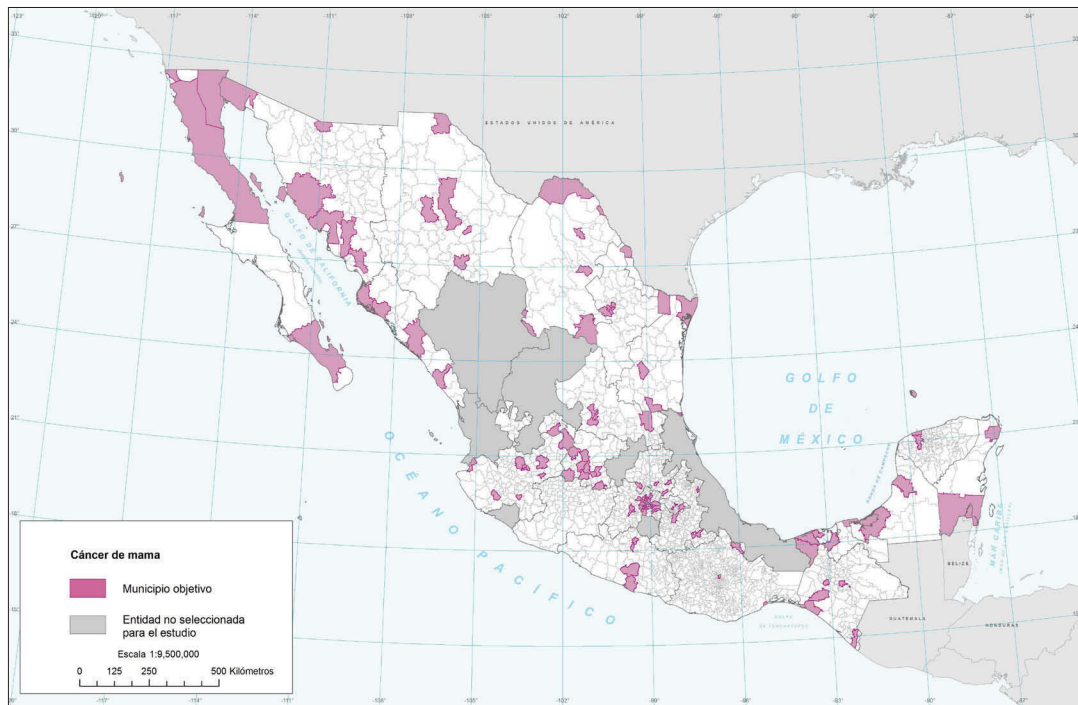


Figura 6. Ubicación de los 120 municipios con las tasas más altas y bajas de mortalidad y morbilidad.

Fuente: INEGI, SS Y SUIVE

Las variables que se analizaron para el presente estudio son: aguas superficiales contaminadas, suelos contaminados con residuos peligrosos, aguas subterráneas contaminadas, industrias contaminantes y la contaminación del aire proveniente de las plantas termoeléctricas,³ así como la expresión espacial y estadística de dichas variables en los municipios objetivo.

Se eligieron estas variables conforme la lista de 119 elementos carcinogénicos que la Organización Mundial de la Salud (OMS), a través de la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC), coloca dentro del grupo 1, porque se han realizado pruebas suficientes que confirman que pueden causar cáncer en los seres humanos; de esta lista se seleccionaron algunos de los principales y probables elementos causantes del cáncer de mama (IARC, 2016), para posteriormente investigar en qué procesos o escenarios se encuentran presentes.

Durante el análisis de las variables seleccionadas se mencionan los elementos que se consideran factores de riesgo para el desarrollo del cáncer mamario. Probablemente quedaron sin analizar algunas otras variables que involucren elementos cancerígenos, o que puedan ser factores de riesgo, pero la decisión de selección se debió a la disponibilidad y la calidad de la información, como se podrá observar en los resultados del presente trabajo.

RESULTADOS

Una de las variables más importantes en el desarrollo del estudio fue la relación espacial entre los municipios con presencia de cuerpos acuíferos (ríos, arroyos, lagos o lagunas) altamente contaminados y los municipios objetivo, tomando en cuenta la clasificación de la CONAGUA, dependencia que utiliza tres indicadores en sus mediciones: demanda bio-

³ En total se analizaron quince variables, que también incluyen aspectos sociales y económicos, que no se presentan en este documento.

química de oxígeno a cinco días (DBO5), demanda química de oxígeno (DQO) y los sólidos suspendidos totales (SST) (CONAGUA, 2012). Al conjuntar estos tres indicadores, la CONAGUA muestra los espacios marcados como severamente contaminados, ubicados en treinta seis de los municipios objetivo, que equivalen al 59% del total de los sesenta y un municipios seleccionados conforme las estadísticas más relevantes de cáncer de mama.

En los estados con los registros más bajos de mortalidad y morbilidad se localizaron 38 puntos fuertemente contaminados en los municipios objetivo, lo que representa el 65% del total de cincuenta y nueve municipios objetivo de esta zona.

También se llevó a cabo, por separado, el análisis de los puntos contaminados por el factor DQO, pues con él se estima cuánta materia orgánica en el agua fue oxidada o degradada por medios químicos e indica que esas aguas residuales provienen principalmente de la actividad industrial y, en menor porcentaje, pero no menos contaminante, de la actividad agrícola.

En el caso de los estados con las tasas de mortalidad y morbilidad más altas, la CONAGUA señala

56 sitios con la clasificación de “contaminados y fuertemente contaminados” por el indicador DQO en ríos, lagos o lagunas y presas, de los cuales cuarenta y dos de ellos (75%) se localizan en los municipios objetivos, distribuidos de la siguiente manera: Baja California 10; Sonora 4; Nuevo León 3; Jalisco 13; Aguascalientes 4 y Distrito Federal 8. Los estados de Baja California Sur, Chihuahua, Coahuila, Tamaulipas, San Luis Potosí y Sinaloa, no reportan contaminación por dicho indicador.

En el caso de los estados con los registros más bajos de mortalidad y morbilidad se puede observar lo siguiente: de los sesenta sitios identificados por la CONAGUA con la clasificación de contaminados y fuertemente contaminados por el indicador DQO, 44 de ellos (73.3%) se localiza en los municipios objetivos distribuidos de la siguiente manera: Campeche 1; Chiapas 1; Guanajuato 14; Guerrero 1; Hidalgo 3; México 9; Oaxaca 4; Puebla 3; Tabasco 2, y Tlaxcala 6. Yucatán y Quintana Roo no reportaron contaminación por este indicador (Figura 7).

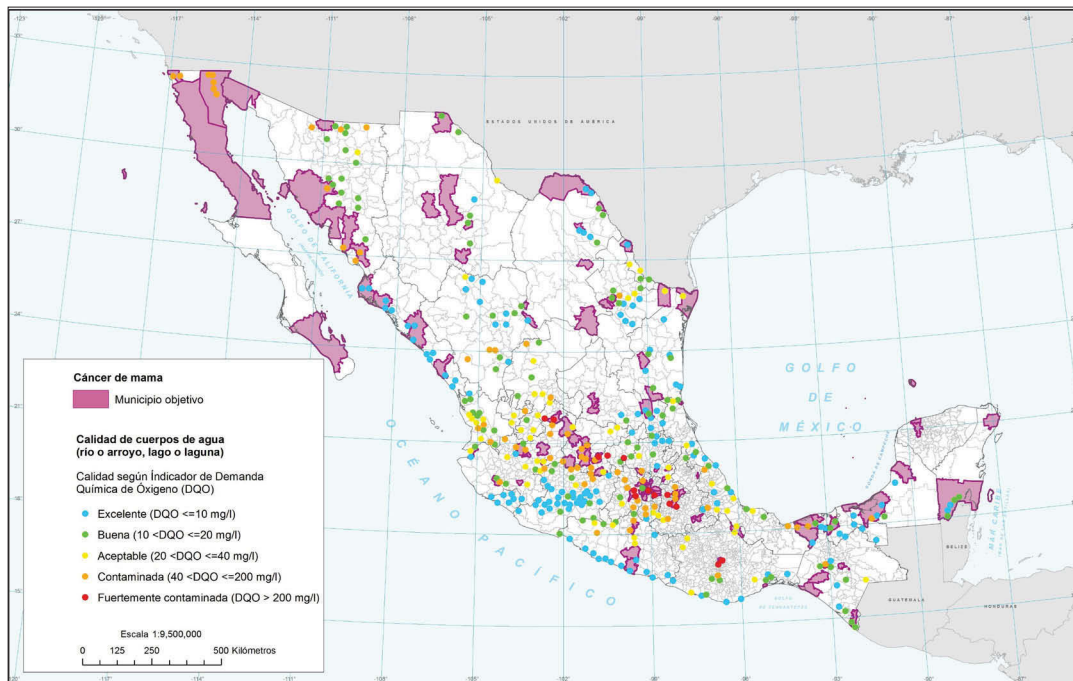


Figura 7. Calidad del Agua según indicador DQO.

Fuente: SINA, Atlas Interactivo, 2012, CONAGUA.

Aguas subterráneas

De la revisión de esta variable resulta que algunos de los principales contaminantes son los nitratos, que en concentraciones mayores a 45 mg/l son potencialmente peligrosos, ya que pueden causar metahemoglobinemia infantil y posibles desarrollos de cáncer. Otros elementos que también se encuentran en concentraciones importantes son los compuestos aromáticos y bencénicos (este último catalogado como un elemento altamente cancerígeno), el DDT, el hierro, el magnesio, el arsénico, entre otros (SINA, 2011).

A manera de ejemplo: el arsénico se ha encontrado en concentraciones peligrosas en la zona de pozos de la región lagunera, en los municipios de Torreón y Gómez Palacio, de los estados de Coahuila y Durango, respectivamente, de los que se abastece la población para consumo personal. Las concentraciones van de 0,09 a 0,59 mg/l en el agua potable, niveles superiores a los permitidos, de 0,05 mg/l (SINA, 2011), y se observa nuevamente una correlación de acuíferos contaminados en un total de setenta cinco

municipios objetivo (62.5%) (Figura 8). Esta es una de las tres variables que resultaron positivas cuando se aplicó el modelo de regresión múltiple (véase la sección Metodología, *supra*).

Calidad del aire

Los principales contaminantes del aire pueden provocar afectaciones a la salud general de la población y, en consecuencia, también ser considerados como factores de riesgo para el desarrollo del cáncer de mama. El análisis de esta variable se basó en la revisión de los reportes de la red de monitoreo de la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA) acerca de las emisiones atmosféricas de las centrales eléctricas en América del Norte y su distribución espacial en correspondencia con los estados y municipios objetivo, elementos que son inherentes a procesos antropogénicos, resultado principalmente de la quema de combustible que pueden provenir de diferentes fuentes, como los vehículos automotores, centrales eléctricas, industrias, comercios e incluso fuentes domésticas.

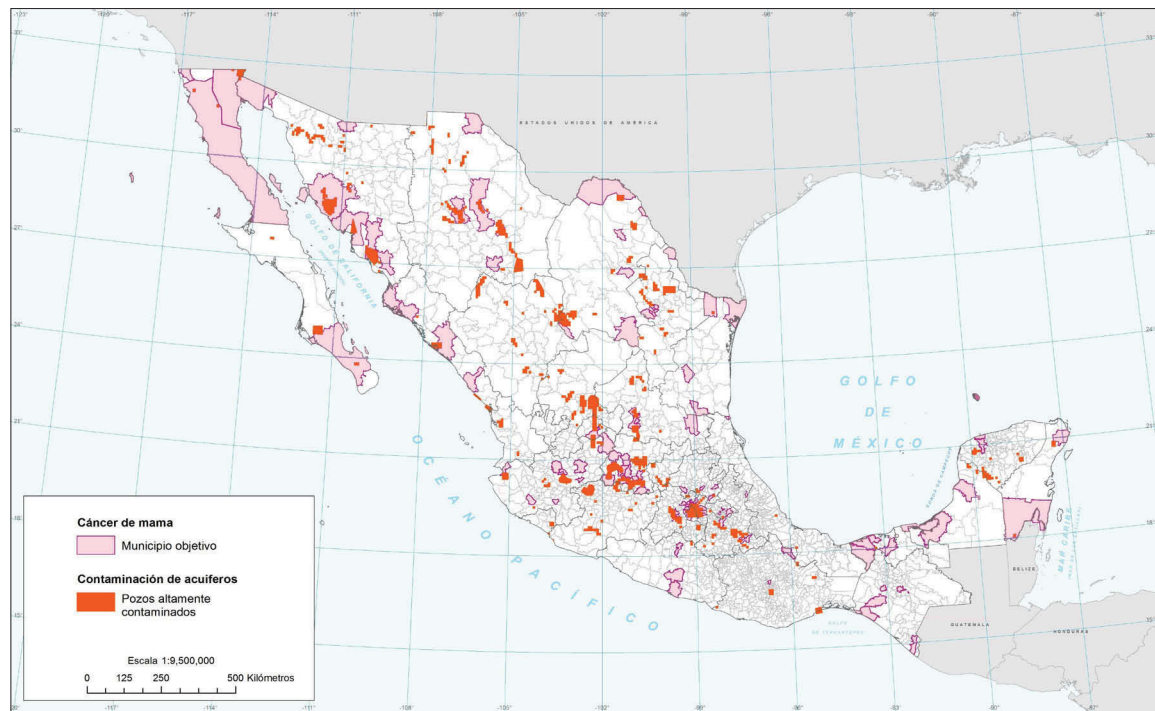


Figura 8. Ubicación de acuíferos contaminados 2012.

Fuente: INEGI, Atlas Interactivo, 2012.

Al respecto, en el encuentro "Hacia ciudades saludables y competitivas", que se celebró en marzo de 2015, la jefa del Laboratorio de Epigenética y Medio Ambiente del Instituto Nacional de Cancerología (Incan), Dra. Yesennia Sánchez Pérez, afirmó que "entre los grandes peligros a la salud están las partículas contaminantes suspendidas en el aire, ya que son factor de riesgo para contraer cáncer de pulmón, cáncer de mama y cáncer gástrico" (Baltazar, 2015:15). Esta investigadora también señaló que la contaminación, producto de las emisiones de diferentes fuentes, entre ellas las provenientes de los vehículos automotores y las industrias, compuestas principalmente por monóxido de carbono, bióxido de azufre, bióxido de nitrógeno, plomo, ozono y material particulado (PM10 y PM2.5), son, en parte, responsables del aumento de este tipo de padecimientos (Baltazar, 2015).

En la evaluación de estos residuos contaminantes se consideraron principalmente los que provienen de plantas de generación de energía eléctrica y de procesos industriales, principales fuentes de estos contaminantes, de acuerdo con el Portal de América del Norte sobre contaminantes precursores del cambio climático de la CCA (CCA, 2010).

De los ochenta y cuatro puntos que se observan en el mapa donde se asientan dichas plantas, cincuenta y ocho (69%) se localizaron en municipios objetivo, de estos, cuarenta y uno son de los municipios de los estados de mayor mortalidad y morbilidad y diecisiete de las entidades con las estadísticas más bajas de cáncer de mama. Un porcentaje importante de estas centrales utilizan para su funcionamiento combustóleo, aceite combustible residual (pesado) derivado de la destilación del petróleo crudo, considerado altamente contaminante debido a que:

"... este tipo de combustible presenta un alto contenido de azufre, por lo que las emisiones al aire durante su quema se convierten en óxidos de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), gases de efecto invernadero (CO₂, CH₄, N₂O), compuestos volátiles (como los hidrocarburos no quemados) y metales tóxicos en niveles traza..." (CCA, 2011: 44).

Otro de los combustibles empleado por las centrales eléctricas es el carbón, y en otras se utilizan ambos combustibles (carbón y combustóleo), por lo que la acción contaminante del aire circundante en varias de estas centrales es un factor de riesgo para el desarrollo no sólo de cáncer de mama sino de otras alteraciones en la salud de la población. En este sentido, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) señala que los humos cargados de elementos tóxicos que se desprenden de la combustión de la madera o carbón se consideran importantes factores de riesgo, pues cuando no arden debidamente

"...se convierten en dióxido de carbono el cual da lugar a productos de combustión incompleta: básicamente monóxido de carbono, pero también benceno, butadieno, formaldehído, hidrocarburos poliaromáticos (HAPs, por sus siglas en inglés) y muchos otros compuestos peligrosos para la salud" (Smith, 2006:41-45).

Es precisamente el benceno uno de los elementos que se ha asociado al cáncer de mama y otros más: leucemia aguda no linfocítica, pre-leucemia, cáncer de riñón, leucemia linfocítica aguda, cáncer de huesos, cáncer cerebral en adultos, leucemia linfocítica crónica, cáncer de vesícula, cáncer de hígado, cáncer de pulmón y linfoma de Hodgkin (Smith, 2006).

Diversos estudios han demostrado la asociación entre la exposición a HAP y algunos tipos de cáncer, principalmente cáncer de mama, próstata, pulmón, vejiga, estómago y leucemia (De Celis *et al.*, 2006). En México, el 37% de las centrales operan con diésel, combustible que la OMS, a través de su boletín de información No. 7, ha clasificado en el grupo 1 de sustancias que tienen relación concreta con el cáncer (OMS, 2012).

En los estados objetivo que tienen las estadísticas más relevantes del cáncer mamario operan cincuenta y tres centrales, y cuarenta y una (77%) de ellas se ubican en los municipios objeto de este estudio; los estados de Chihuahua y Tamaulipas son los que concentran la mayor cantidad de centrales termoeléctricas en los municipios de interés, con seis y siete, respectivamente.

En el caso de los estados con las estadísticas menos representativas del cáncer de mama se ubican diecisiete centrales en los municipios objetivo, de las veintiún centrales que se ubican en los estados seleccionados, lo que equivale al 81%. En los estados de Campeche, México y Quintana Roo se ubica el mayor número de centrales en los municipios objetivo, cado uno con tres, respectivamente.

En los siguientes figuras se aprecia la distribución y producción de dos de los siete elementos contaminantes que se vierten diariamente a la atmósfera y que están relacionados directamente con el desarrollo de diversos tipos de cáncer, entre ellos el de mama, sin dejar de considerar que los elementos que no fueron cartografiados en este estudio también ocasionan severos daños a la salud de la población expuesta.

La Figura 9 muestra los valores que se registran en las diferentes centrales por las emisiones del dióxido de nitrógeno (NO_x), que es la combinación del óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitró-

geno (NO_2), considerados entre los principales contaminantes ambientales, pues contribuyen de manera preponderante en la formación del *smog* y en la producción de la lluvia ácida, elementos que alteran de diferente manera la salud de la población expuesta (NJHealth, 2011). En 2012 la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC, por sus siglas en inglés), dependiente de la OMS, informó que este tipo de compuestos “que se producen en la combustión del diésel, ahora lo sube al nivel 1, el más alto en la escala, de las sustancias que causan cáncer con seguridad. En ese nivel están el amianto, el benceno, el formaldehído, la radiación solar” (Méndez, 2012:1). En México, treinta y dos termoeléctricas utilizan diésel.

La Figura 10 muestra los valores registrados para el bióxido de azufre (SO_2), contaminante atmosférico relevante, que es resultado de los combustibles fósiles como el combustóleo, el carbón y el diésel y, según reportes de la OMS, los ingresos hospitalarios por cardiopatías y la mortalidad se

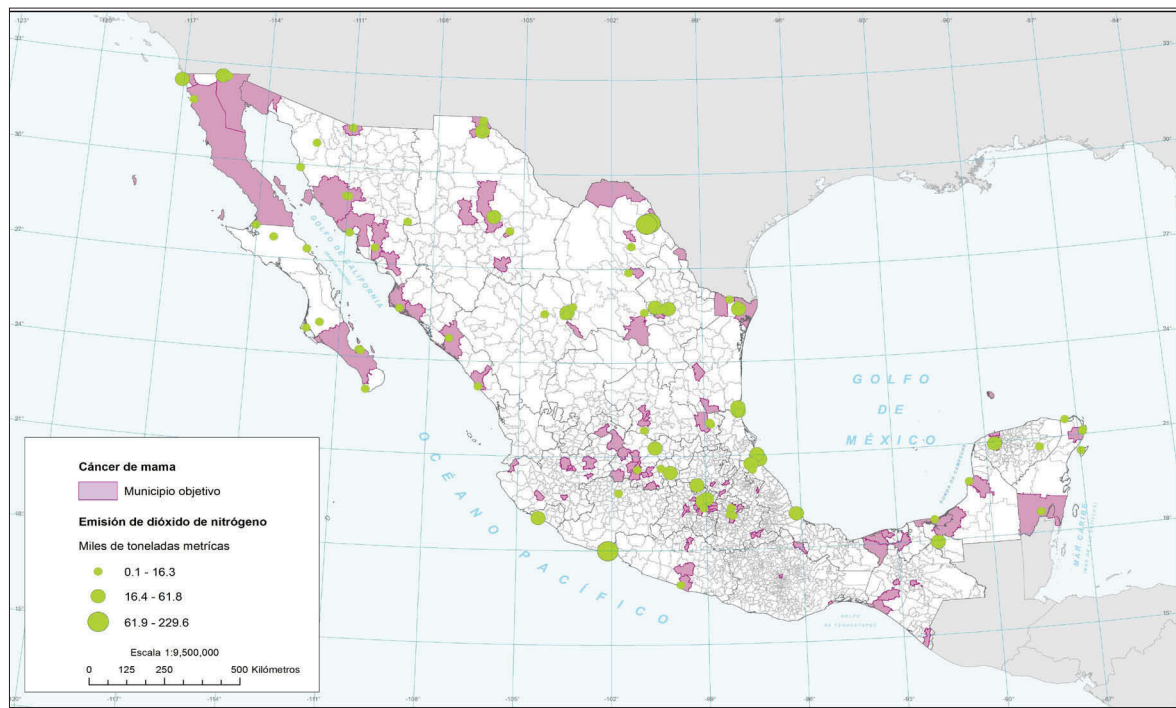


Figura 9. Emisiones de NO_x

Fuente: Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA). 2010.

incrementan en los días en que los niveles de SO_2 son mayores. Igualmente la exposición constante y prolongada es causa de desarrollo de diferentes tipos de cánceres (OMS, 2014).

El óxido nitroso (N_2O), junto con el metano, son gases de efecto invernadero y, en consecuencia, alteran la salud de las personas. La agricultura es la principal generadora de este gas altamente contaminante (UNEP, 2013). En 2012, la IARC informó que los gases que se desprenden de la combustión del diésel son carcinógenos y, entre ellos, están el N_2O y los ya mencionados a lo largo del texto (Ibáñez, 2012).

Otro contaminante del aire son las PM_{10} (del inglés *Particulate Matter*), que son partículas pequeñas con menos de 10 micrones (μm) de diámetro, que pueden ser sólidas o líquidas, formadas de polvo, cenizas, hollín, metálicas, de cemento o de polen, que se encuentran dispersas en la atmósfera y provienen de las industrias y de la combustión donde se utiliza el diésel, el carbón y otras fuentes fósiles, como las centrales eléctricas y la quema de residuos de carbón, agrícolas y desechos sólidos municipales, además de la quema de madera. Los principales tipos de industrias que generan este contaminante son las fundidoras; la minería; las dedicadas a la producción de asbestos; la metalúrgica; producción de cerámica; producción del vidrio y cementeras. Afectan principalmente el sistema respiratorio y son causa del desarrollo de enfisemas y cánceres (PNUMA, 2011).

Actividad industrial

Para el análisis y la ubicación espacial de las principales industrias que en sus procesos de operación generan desechos tóxicos o contaminantes, se consideraron los registros anuales de emisiones y transferencias de contaminantes (RETC), que aportan información de la cantidad de contaminantes liberados por una planta industrial al aire, al agua y el suelo, o que son inyectados a pozos subterráneos, así como las transferencias de estos

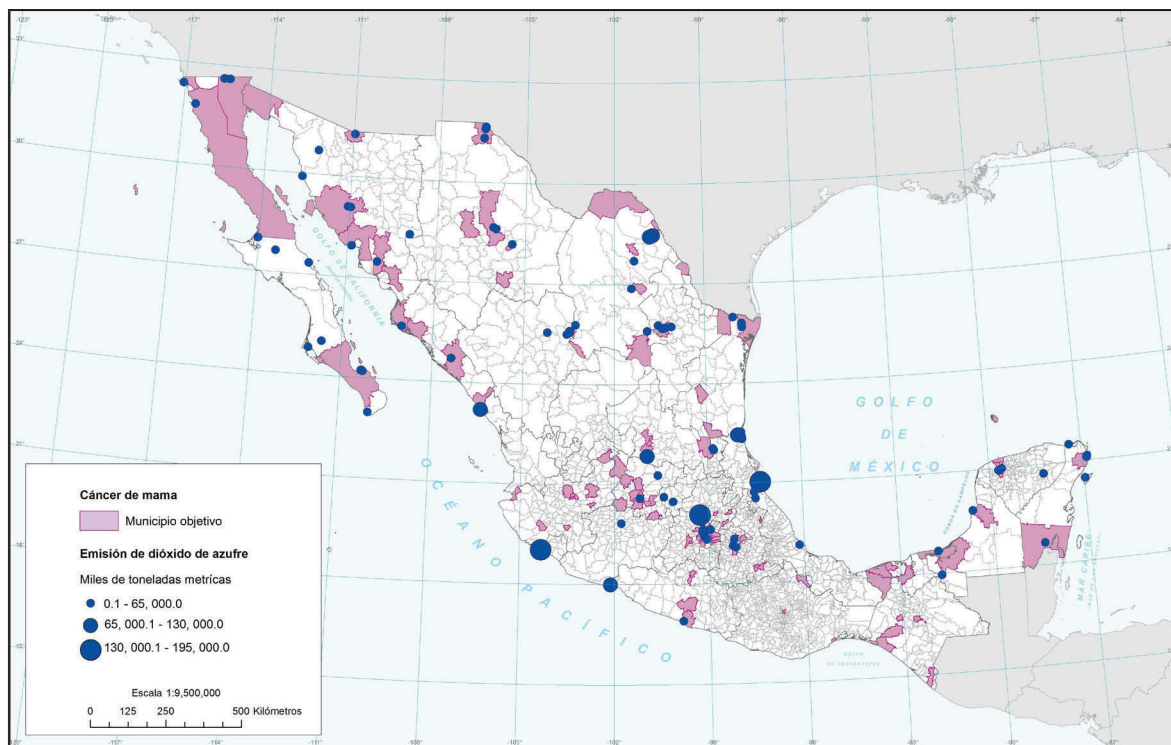
desechos para su tratamiento. Estos registros son los que utiliza la Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte (CCA),⁴ para confeccionar las listas de las principales industrias y tipos de contaminantes que se generan en México, Canadá y los Estados Unidos:

“Los RETC siguen el rastro de ciertas sustancias químicas, recopilan datos sobre contaminantes individuales y no del volumen global de desechos conformados por mezclas de sustancias, por lo que permiten dar seguimiento a los datos sobre las emisiones y transferencias de las sustancias químicas de manera individual. Los informes por planta o establecimiento industrial son esenciales para ubicar la fuente de las emisiones y quién o qué las genera. Buena parte de la fuerza de los RETC radica en la divulgación o difusión pública de los datos, tanto completos como en síntesis, entre una amplia gama de usuarios” (CCA, 2014:2).

Del análisis realizado por la CCA resulta que son setecientas cuarenta y cinco plantas, distribuidas en seis sectores industriales, las que aportaron alrededor del 96% de los más de sesenta y cinco millones de kilogramos de emisiones y transferencias registradas en el RETC mexicano, y de estos sectores, la extracción de minerales metálicos aportó el 69% en 2005 (CCA, 2011), como se puede observar en la Figura 11.

Del análisis espacial de la ubicación de las industrias en los estados y municipios objetivo se identifica una correspondencia muy elevada entre dichos municipios y las diversas instalaciones industriales. Esta variable fue una de las que presentaron la relación más alta al aplicarse el procedimiento estadístico de los modelos de regresión múltiple (Cuadro 1). Esta variable en particular es muy relevante, pues, si además se considera que en los mismos espacios coinciden otras de las variables del estudio, estos factores de riesgo podrían ser, en conjunto, algunos de los principales elementos que han provocado y pueden seguir provocando el de-

³ Organización intergubernamental que apoya la cooperación en materia ambiental entre los tres socios del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), México, Canadá y Estados Unidos. En Balance es la publicación de la CCA donde se recopilan los datos del Inventario Nacional de Emisiones de Contaminantes de Canadá, el Inventario de Emisiones Tóxicas de Estados Unidos y el Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC) de Estados Unidos y México.

Figura 10. Emisiones de SO₂.

Fuente: Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA). 2010.

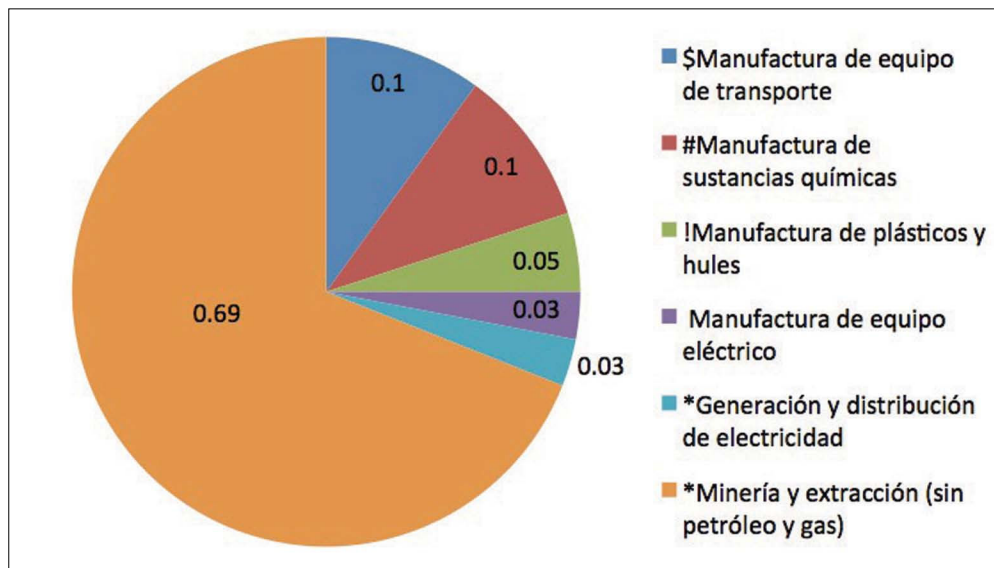


Figura 11. Principales sectores industriales que aportan más residuos contaminantes

Fuente: CCA (2009), En balance: emisiones y transferencias de contaminantes en América del Norte en 2005.

sarrollo de esta neoplasia en la población femenina de los ámbitos analizados (Cuadro 1 y Figura 12).

Condiciones edafológicas

Gran parte de los desechos tóxicos que se generan por la actividad industrial terminan enterrados o vertidos en el suelo y el subsuelo del país (además de los que se hacen en las corrientes de agua o alcantarillados). La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) ha dividido en tres tipos los diferentes desechos de la actividad industrial: residuos sólidos urbanos (RSU), residuos peligrosos (RP) y residuos de manejo especial (RME), que representan un riesgo potencial para la salud humana, para la existencia de los organismos vivos y para el aprovechamiento de los bienes o propiedades de las personas (DOF, 2003).

Para el presente estudio sólo se consideraron los sitios contaminados por RP (resultado del uso industrial), denominados pasivos ambientales, y que no fueron remediados oportunamente para

Cuadro 1. Valor de la relación

Valor de la r	Interpretación
1.0	Relación perfecta positiva
0.9	Muy fuerte positiva
0.7	Moderadamente fuerte positiva
0.4	Moderadamente débil positiva
0.1	Muy débil positiva
0	No existe relación
-0.1	Muy débil negativa
-0.4	Moderadamente débil negativa
-0.7	Moderadamente fuerte negativa
-0.9	Muy fuerte negativa
-1.0	Relación perfecta negativa

Fuente: Ritchey, J., (2008), "Correlación y regresión Bi variada en Estadística para las ciencias sociales", McGraw Hill, México, pp. 518-523

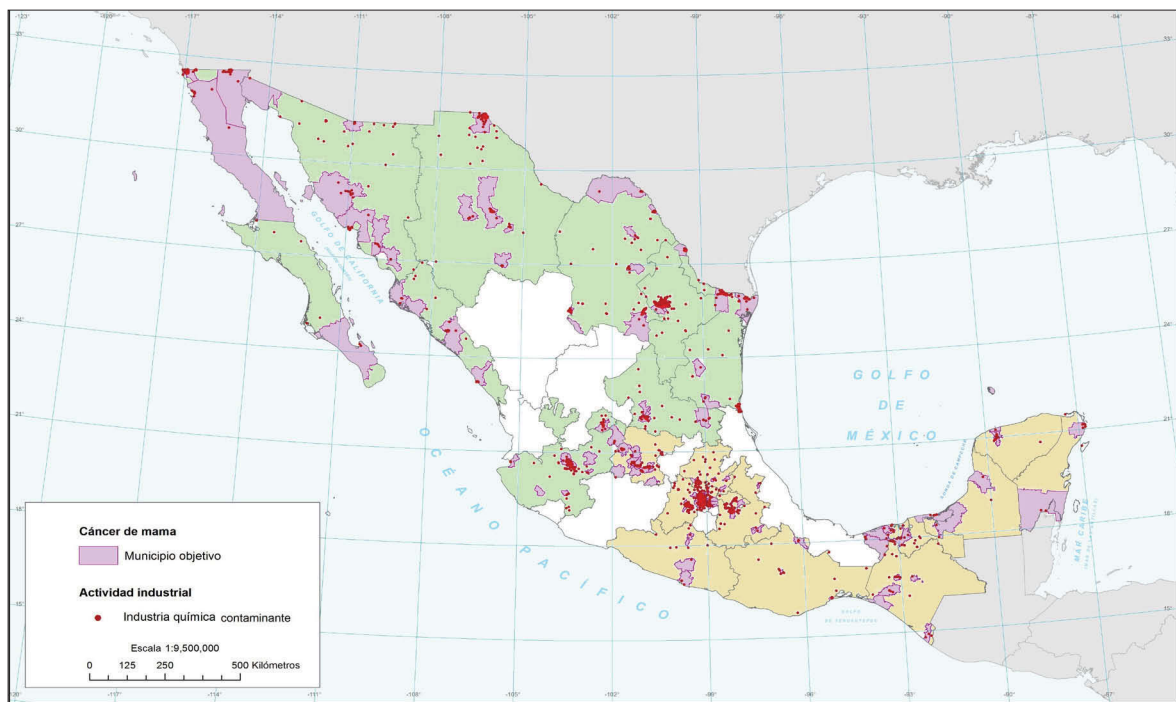


Figura 12. Ubicación de industrias contaminantes.

Fuente: Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA), 2009.

impedir la dispersión de los contaminantes. Las industrias que más generan desechos con RP son la minera, la química básica, la petroquímica, la refinación de petróleo y la agroindustria, las que

“...han producido cantidades muy grandes, pero muy difíciles de cuantificar, de residuos peligrosos. En muchos casos éstos han sido depositados abiertamente en el suelo sin ningún tipo de control. Esto ha planteado importantes riesgos a la población o bien generado riesgos de contaminación de acuíferos por la lixiviación de contaminantes” (INE, 2007:283).

Y más peligroso aún es que hay muchos sitios con materiales RP que se han conformado de manera clandestina a lo largo de los años, que no se encuentran bajo la vigilancia o supervisión de las instancias

correspondientes y son desconocidos por la población, lo que implica riesgos potenciales a su salud, que ha estado o seguirá estando expuesta a ellos, la mayoría de las veces sin saberlo, presentándose malformaciones congénitas y diversos tipos de cáncer.

En la Figura 13 se aprecia que de los municipios objetivo con las estadísticas más significativas de cáncer de mama, solo en ocho de ellos (13.1%) no se hace ninguna mención respecto a la presencia de sitios contaminados con RP, cifra cuestionable pues, como se mencionó, existen sitios clandestinos sobre los cuales aún falta una mayor vigilancia, control, detección e investigación por parte de las autoridades competentes. Solo en seis (10.16%) municipios objetivo con las estadísticas menos significativas de cáncer de mama no se hace referencia a la presencia del algún sitio con RP.

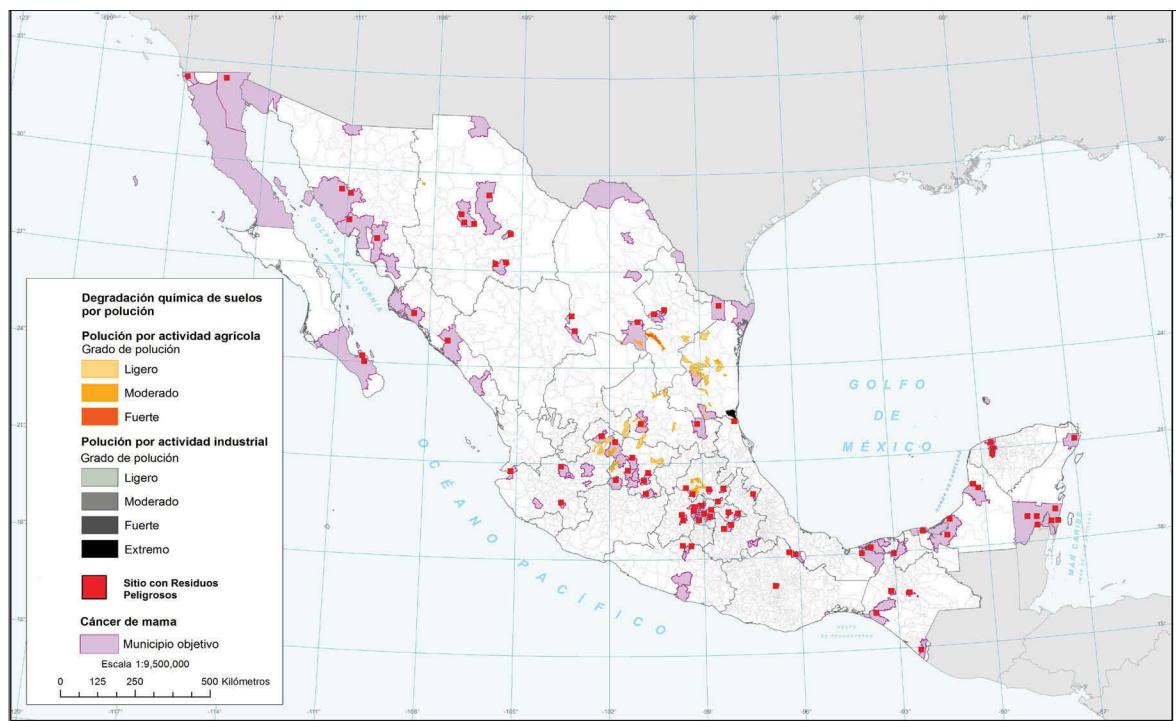


Figura 13. Contaminación química de suelos y sitios con Residuos Contaminantes (RP), 2013.

Fuente: Programa Sectorial del Medio Ambiente y Recursos Naturales (PROMARNAT), 2013-2018. INEGI, 2014.

Cuadro 2. Correlación de Pearson

Estado	R2	Estado	R2
Aguascalientes	0.72	Campeche	0.31
Baja California	0.85	Chiapas	0.32
Baja California Sur	0.25	Guanajuato	0.42
Coahuila	0.32	Guerrero	0.37
Chihuahua	0.87	Hidalgo	0.01
Distrito Federal	0.61	México	0.55
Jalisco	0.83	Oaxaca	0.23
Nuevo León	0.52	Puebla	0.41
San Luis Potosí	0.97	Quintana Roo	0.88
Sinaloa	0.76	Tabasco	0.37
Sonora	0.62	Tlaxcala	0.01
Tamaulipas	0.52	Yucatán	0.23

Fuente: Elaboración del autor

CONCLUSIONES

Delimitar los principales espacios donde se ha desarrollado el cáncer de mama durante los últimos doce años permitió la aplicación de un catálogo de variables para identificar varios factores de riesgo que convergen en dichos espacios, situación que puede, eventualmente, explicar en parte la presencia tan acentuada del cáncer de mama entre la población femenina de ciertas regiones de México.

Lo anterior tiene importancia si se considera que la OMS atribuye a los factores y condiciones ambientales como los causantes del desarrollo de más del 80% de los cánceres que se presentan en el mundo, principalmente los de pulmón y de mama. Este análisis permite focalizar e implementar políticas públicas para la prevención de las mujeres que se encuentra más expuestas a los factores de riesgo descritos en el estudio y la definición de recursos para la detección, tratamiento y atención de la población que manifieste esta enfermedad o con posibilidad a desarrollarla, considerando que el cáncer de mama es actualmente un grave problema de salud pública, con un marcado incremento anual.

REFERENCIAS

- Baltazar, E. (2015), "La contaminación detona el cáncer", *El Siglo de Torreón*, viernes 20 de marzo, Secc. Nacional, p. 15.
- Beaulieu, N., D. Bloom y R. Bloom (2009), "Breakaway: The global burden of cancer-challenges and opportunities", The Economist Intelligence Unit, The Economist, Gran Bretaña.
- CCA (Comisión de Cooperación Ambiental de América del Norte) (2010), *México Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*, Portal de América del Norte sobre contaminantes precursores del cambio climático. [<http://climateportal.cec.org/es/emission-metric/303595>: 15 de noviembre de 2015].
- CCA (Comisión de Cooperación Ambiental de América del Norte) (2011), "Emisiones atmosféricas de las centrales eléctricas en América del Norte", 2011, CCA, Canadá. [<http://www.cec.org/islandora/es/item/10236-north-american-power-plant-air-emissions-es.pdf>: 23 de octubre de 2015].
- CCA (Comisión de Cooperación Ambiental de América del Norte) (2014), *En balance: emisiones y transferencias de contaminantes en América del Norte*, vol. 14, CCA, Montreal, Canadá, 142 pp.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2012), *Estadísticas del Agua en México, edición 2012*, Comisión Nacional del Agua, SEMARNAT, México, 141 pp.

- De Celis, R., G. Morgan, A. Bravo y A. Fera (2006), "Cáncer de mama y exposición a hidrocarburos aromáticos", *e-Gnosis*, vol. 4. [http://www.redalyc.org/pdf/730/73000402.pdf: 7 de noviembre de 2015].
- DOF (Diario Oficial de la Federación) (2003), "Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos", DOF, miércoles 8 de octubre, México.
- Guerrero, P. (2011), "Geografía Médica", *Boletín electrónico La Guía 2000*, septiembre. [http://geografia.laguia2000.com/general/geografia-medica#ixzz2kYSILN2l: 11 de noviembre de 2013].
- Hoy Saludable (2011), "El cáncer de mama en México", 10 de agosto, México. [http://www.hoy saludable.com/el-cancer-de-mama-en-mexico: 27 de noviembre de 2013].
- IARC (International Agency for Research on Cancer) (2016), "Agents Classified by the IARC Monographs Volumes 1-117" International Agency for Research on Cancer, Lyon, France. [http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/index.php: 17 de julio de 2016].
- Ibáñez (2012), "El humo de los motores diésel ha sido catalogado como carcinógeno", 2012, Madrid, España. [http://www.motorpasionfuturo.com/medio-ambiente/el-humo-de-los-motores-diesel-catalogado-como-carcinogeno: 25 de noviembre de 2015].
- INE (Instituto Nacional de Ecología) (2007), "El manejo actual de los residuos: condicionantes y consecuencias" Instituto Nacional de Ecología, 2007. México. [http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/283/cap2.html, actualizado al 15 de noviembre de 2007: 18 de marzo de 2016].
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (2010), *Censo General de Población y Vivienda 2010*, INEGI, México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (2014), "Estadísticas a propósito del Día mundial de la lucha contra el cáncer de mama 19 de octubre", Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México. [http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/aproposito/2015/mama0.pdf: noviembre de 2015].
- Méndez, R. (2012), "La OMS concluye que el humo del diésel causa cáncer de pulmón", Ediciones El País, 12 de junio, primera plana. [http://sociedad.elpais.com/sociedad/2012/06/12/actualidad/1339526675_079200.html: 18 de noviembre de 2015].
- NJHealth (New Jersey Department of Health) (2011), "Hoja informativa sobre sustancias peligrosas", New Jersey, EUA. [http://nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/1202sp.pdf: 8 de marzo de 2015].
- OMS (Organización Mundial de la Salud) (2012), "Cáncer", Nota descriptiva No. 297, 2012, Organización Mundial de la Salud, México. Actualizado a febrero de 2015. [http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs297/es/index.html: 19 de octubre de 2012].
- OMS (Organización Mundial de la Salud) (2014), "Calidad del aire (exterior) y salud", Nota descriptiva No. 313, Marzo de 2014. Organización Mundial de la Salud, México. [http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/: 23 de septiembre de 2015].
- PNUMA (Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente) (2011), "Contaminantes: Partículas (PM)", Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente, 2011. [http://www.unep.org/tnt-unep/toolkit_esp/pollutants/facts.html: 1 de enero de 2016].
- Rodríguez, M. y R. Mora (2001), "Análisis de regresión múltiple", en *Estadística informática: casos y ejemplos con el SPSS*, Publicaciones de la Universidad de Alicante, España, pp. 3-17. [http://hdl.handle.net/10045/8143: 25 de mayo de 2016].
- Seguinot, J. (2012), "Geografía médica y de la salud: conceptos, paradigmas y visiones en el contexto del cambio climático", *Geográfica Digital*, año 9. núm. 17. [http://hum.unne.edu.ar/revistas/geoweb/default.htm, publicación digital: 10 de junio de 2015].
- SINA (Sistema Nacional de Información del Agua) (2011), *Estadísticas del Agua en México 2011*, CONAGUA, México. [http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGP-1-11-EAM2011.pdf: 3 de junio de 2014].
- SINAIS (Sistema Nacional de Información de Salud) (2010), Estadísticas del cáncer de mama, SINAIS, México. [http://www.cnegsr.salud.gob.mx/contenidos/Programas_de_Accion/cancermama/estadisticas_CM.html: 19 de marzo de 2014].
- Smith, K. (2006), "El uso doméstico de leña en los países en desarrollo y sus repercusiones en la salud", *Unasylva, Revista internacional de silvicultura e industrias forestales*, vol. 57, núm. 224, pp. 41-44.
- SS (Secretaría de Salud) (2002), "Programa de Acción: Cáncer de mama", SS, México. [http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/documentos/DOCSAL7105.pdf: 15 de noviembre de 2015].
- UNEP (United Nations Environment Programme), (2013), *Drawing Down N₂O to Protect Climate and the Ozone Layer. A UNEP Synthesis Report*, UNEP, Kenia.