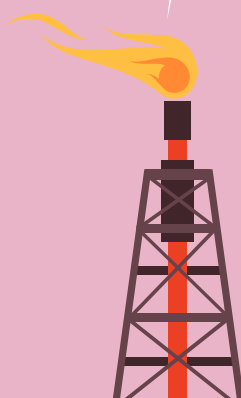


# Impactos al desarrollo fetal por proximidad a pozos de gas “natural” (fósil):

**ANOMALÍAS CONGÉNITAS Y GENÉTICAS EN RECIÉN NACIDOS EN LA PROVINCIA PETROLERA DE BURGOS 2017-2021**

Manuel Llano Vázquez Prada  
Carla Flores Lot





# Impactos al desarrollo fetal por proximidad a pozos de gas “natural” (fósil): anomalías congénitas y genéticas en recién nacidos en la provincia petrolera de Burgos 2017-2021<sup>1</sup>

Autores: **Manuel Llano Vázquez Prada, Carla Flores Lot**

Agradecimientos: **Margarita Campuzano, Mónica Flores Muñoz, Alberto Rojas Rueda, y Anaid Velasco**

Diseño editorial: **Agustín Martínez Monterrubio (Comunes)**

Publicación: **México, abril 2023**

---

<sup>1</sup> Llano Vázquez Prada, M., & Flores Lot, C. (2023). Impactos al desarrollo fetal por proximidad a pozos de gas natural: anomalías congénitas y genéticas en recién nacidos en la provincia petrolera de Burgos 2017-2021. Centro Mexicano de Derecho Ambiental (CEMDA) y CartoCrítica.

## Contenido

Objetivo _____	4
Resumen _____	5
Introducción _____	6
Metodología _____	10
Análisis estadístico _____	13
Resultados y discusión _____	16
Conclusiones _____	24
Bibliografía _____	26



## Objetivo

Explorar la relación entre la proximidad de los pozos de gas “natural” (fósil) y la presencia de anomalías en el desarrollo fetal (congénitas y genéticas) en recién nacidos con respecto del lugar de residencia de la madre durante el embarazo.



## Resumen

Es un estudio de cohorte retrospectivo con datos de cinco años (2017 al 2021) para la provincia petrolera de Burgos en el noreste de México. La realización de este estudio toma como base los hallazgos y la metodología propuesta por McKenzie *et al.* (2014) y Janitz *et al.* (2018) en estudios de anomalías y malformaciones congénitas relacionadas con su cercanía a los pozos de gas fósil en Colorado y Oklahoma. Para la realización de este estudio se utilizaron únicamente fuentes públicas de información oficial, principalmente las bases de datos de certificados de nacimientos en México, y de ubicación y actividad de los pozos de gas y petróleo. Como principales resultados de este estudio se identificó una asociación positiva entre la cercanía a los pozos de gas con el lugar de residencia de las madres durante el embarazo y la presencia de malformaciones congénitas del sistema digestivo, del sistema circulatorio, de los órganos genitales, así como de fisura del paladar y labio leporino en los recién nacidos.





## Introducción

El gas metano ( $\text{CH}_4$ ), principal componente del gas fósil, es un combustible reconocido como el segundo Gas de Efecto Invernadero (GEI) de mayor importancia en provocar el calentamiento global. El consumo del gas fósil en el mundo se ha incrementado aproximadamente 30% cada década en los últimos cincuenta años, y en 2019 fue la segunda fuente de energía para la generación eléctrica (24%) sólo después del carbón (37%) (IEA, 2021). El consumo de este gas en México para la generación de energía eléctrica ha tenido un crecimiento acelerado, pasando de 8% en 1985, a 61% para el 2021 (Ritchie *et al.*, 2022).

Desde 2017, México se convirtió en un país netamente importador de gas fósil, pues su consumo sobrepasó su producción (Comisión Nacional de Hidrocarburos, 2022b); no obstante, el país sigue siendo un gran productor de este hidrocarburo. El 60% (2,912 MMpcd)<sup>1</sup> de la producción de gas fósil en México durante el periodo 2017-2021 provino del Golfo de México, de las aguas someras de la provincia petrolera Cuencas del Sureste. De la producción terrestre, 48% (918 MMpcd) se extrajo también de Cuencas del Sureste, pero en su porción terrestre; seguido de 32% (618 MMpcd) de la provincia petrolera de Burgos, ubicada en el norte de Tamaulipas, noreste de Nuevo León y el margen noreste de Coahuila (Comisión Nacional de Hidrocarburos, 2022d) (ver Mapa de ubicación dentro del Mapa 1). A diferencia de Cuencas del Sureste, en Burgos no se extrae petróleo crudo, ni existen centrales petroquímicas o refinerías, por lo que los impactos asociados exclusivamente a la extracción de gas fósil pueden ser identificados más fácilmente sin tener influen-

**1 Millones de pies cúbicos diarios**

6

Impactos al desarrollo fetal por proximidad a pozos de gas "natural" (fósil): anomalías congénitas y genéticas en recién nacidos en la provincia petrolera de Burgos 2017-2021

cia de otras instalaciones de hidrocarburos, motivo por el que se seleccionó esta provincia petrolera como área de estudio.

La magnitud de los impactos climáticos negativos del metano es regularmente opacada, pues comúnmente se expresa su afectación climática en términos de emisiones de dióxido de carbono equivalentes (CO<sub>2</sub>e), conversión que está basada en una permanencia de 100 años en el ambiente, sin tomar en cuenta los tiempos de vida de los gases y su impacto durante esos años. Es decir, mientras que el dióxido de carbono puede permanecer en el ambiente cientos o miles de años, el metano tiene un tiempo de vida de 12 años aproximadamente. Esto diluye la interpretación de su efecto radiativo,<sup>2</sup> pues en 100 años su potencial (GWP100) es de 29.8 veces, mientras que en 20 años (GWP20) es de 82.5 (IPCC AR6, para metano proveniente de fuentes fósiles).

Otro escenario de dilución de los impactos del metano es en el marco de la salud humana y de los ecosistemas, ya que éste es precursor del ozono troposférico (O<sub>3</sub>) y es responsable del 35% de su abundancia en la tropósfera (Butler *et al.*, 2020). En el caso de los ecosistemas, el ozono troposférico causa daño celular en las plantas, reduciendo la tasa de fotosíntesis, lo que impacta tanto en la producción agrícola como en las poblaciones de vegetación natural (Ashmore, 2005), resultando en una importante pérdida de biomasa y de potencial captura de carbono. Los daños del ozono troposférico a la salud humana son principalmente respiratorios, como el asma y otras enfermedades pulmonares, y se ha estimado que a nivel global el 15% de las muertes por enfermedades respiratorias asociadas a este ozono se pueden atribuir al aumento en las concentraciones de metano (Fang *et al.*, 2013).

En este estudio de cohorte retrospectivo utilizamos la metodología desarrollada por McKenzie *et al.* (2014) y Janitz *et al.* (2018) para determinar los impactos al desarrollo fetal debido a la proximidad a pozos de gas fósil en la provincia petrolera de Burgos. Dichos impactos se estudiaron considerando nacimientos registrados entre 2017 y 2021.

---

**2 Diferencia entre la insolación absorbida por la Tierra y la energía irradiada de vuelta al espacio.**

Aunado a los impactos en la salud humana causados por el ozono troposférico formado por el metano, existen otros impactos que provienen de los compuestos que son emitidos junto con el metano durante la extracción de gas. En este proceso se producen emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), partículas suspendidas (PM) e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) procedentes tanto del proceso de perforación del pozo petrolero o de gas (lodos de perforación, fluidos de fracturación hidráulica, depósitos que contienen aguas residuales e hidrocarburos líquidos, tráfico de diésel, estaciones de compresión, deshidratadores y tuberías), como del pozo ya en activo (McKenzie *et al.*, 2014). De estos procesos se emiten al aire COV como el benceno, tolueno, etil-benceno y xileno (en conjunto BTEX), sustancias tóxicas que son teratógenos<sup>3</sup> y disruptores endócrinos,<sup>4</sup> de los cuales se sabe que, además de su toxicidad en adultos, son un riesgo durante el embarazo pues atraviesan la placenta exponiendo al feto a sus efectos teratógenos (ATDSR, 2007; Bukowsky, 2001).

Dentro de las afecciones al desarrollo fetal se encuentran las malformaciones congénitas, deformidades y anomalías cromosómicas,<sup>5</sup> que son condiciones presentes al nacimiento, cuyo origen puede ser genético o por mutaciones provocadas durante la vida intrauterina. Estas afecciones pueden ser estructurales o funcionales, es decir, malformaciones o trastornos metabólicos respectivamente, y se clasifican en once grupos distintos (enlistados en la Tabla 1) que involucran los sistemas nervioso, circulatorio, respiratorio, digestivo y urinario, así como malformaciones de labio leporino y paladar hendido, órganos genitales, zona facial (ojos, oídos, cara y cuello), músculos y huesos (OMS, 2019). Entre los factores de riesgo para desarrollar malformaciones congénitas se encuentran el nivel socioeconómico bajo, en el cual la madre no tiene los recursos para acceder a alimentos nutritivos, el abuso de cigarro o alcohol u otras sustancias químicas, enfermedades de la madre, falta de folato o la residencia en sitios donde estén expuestas a agentes tóxicos, como pueden ser los COV, el benceno, tolueno o HAP, cuya exposición constante o de altas concentraciones a sustancias tóxicas durante el embarazo pone en riesgo al feto durante su desarrollo (OMS, 2022).

---

**3 Agente capaz de causar afectaciones congénitas, que se presenta durante el período de gestación (Butler, 2020).**

**4 Sustancias que alteran el sistema endócrino o de fabricación de hormonas (Bolden, 2015).**

**5 Incluidas en la Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE) 10 edición para estadísticas de mortalidad y morbilidad.**





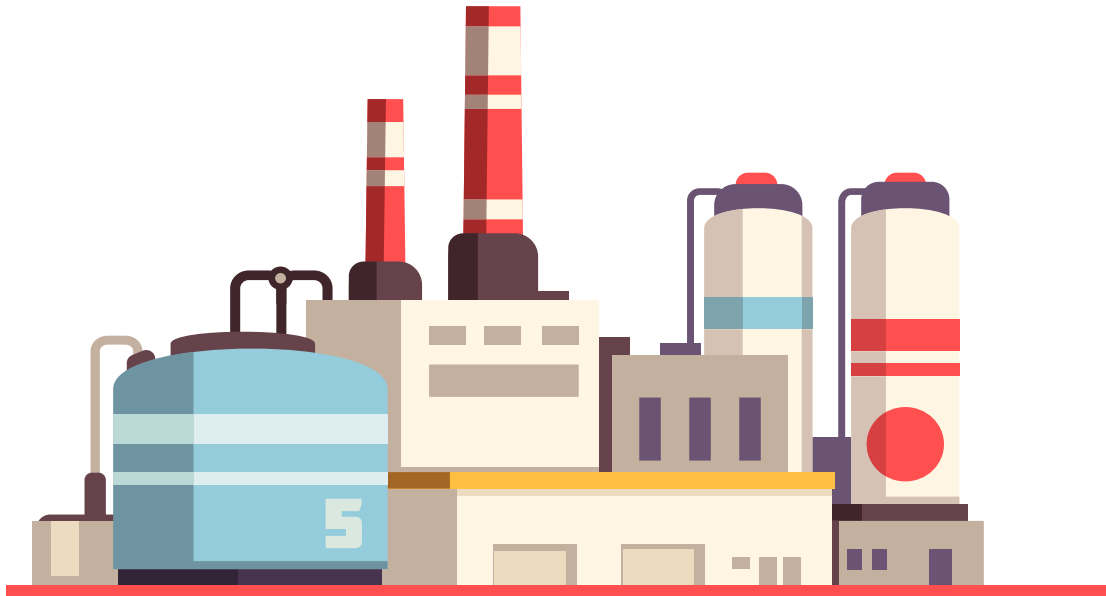
Al respecto, diversos estudios han señalado que existe una relación adversa entre la exposición a estas sustancias provenientes de la extracción de hidrocarburos y ciertas afectaciones reproductivas y de desarrollo del feto, como restricción del crecimiento intrauterino (nacimientos prematuros y bajo peso al nacer) y malformaciones congénitas (Janitz *et al.*, 2018). De estas últimas, si bien no está claro el mecanismo biológico por el cual las sustancias provocan las anomalías, sí se identifica que están asociadas al estrés oxidativo (Janitz *et al.*, 2018), lo cual sucede cuando hay demasiadas moléculas inestables o radicales libres en el cuerpo y no hay suficientes antioxidantes para eliminarlas, lo que causa daño al ADN, aumentando los llamados aductos de ADN de la placenta, que son zonas de la cadena de ADN de la placenta en las que se pegan moléculas dañinas, aumentando la probabilidad de mutaciones (Ortiz y Medina, 2020).

Dentro de las relaciones adversas, se ha observado una asociación positiva entre la cantidad de HAP o benceno en la placenta y defectos del tubo neuronal (DTN) del feto, siendo el sistema nervioso el más vulnerable a los contaminantes del aire, ya que no existe la protección de la barrera hematoencefálica hasta después del nacimiento. El paladar hendido, DTN y los defectos cardíacos congénitos (DCC) son las clases más comunes de afectaciones presentes al nacimiento, mismos que resultan unas de las principales causas de mortalidad neonatal. De hecho, se han registrado bajos puntajes en la escala de APGAR<sup>6</sup> en los bebés de madres que viven cerca de zonas de extracción de gas fósil, por lo que existen investigaciones muy específicas al respecto de si existe una relación entre la cercanía a estos pozos a la residencia de la madre y las anomalías congénitas de los recién nacidos (McKenzie *et al.*, 2014).

En este estudio de cohorte retrospectivo utilizamos la metodología desarrollada por McKenzie *et al.* (2014) y Janitz *et al.* (2018) para determinar los impactos al desarrollo fetal debido a la proximidad a pozos de gas fósil en la provincia petrolera de Burgos. Dichos impactos se estudiaron considerando nacimientos registrados entre 2017 y 2021. Para la realización de este estudio se utilizaron únicamente fuentes públicas de información oficial, principalmente las bases de datos de certificados de nacimientos en México, y de ubicación y actividad de los pozos de gas y petróleo.

---

**6** Es una prueba que se realiza a los recién nacidos donde se evalúa frecuencia cardiaca, tono muscular, reflejos, respiración y respuesta de la piel.



## Metodología

### NACIMIENTOS Y SALUD

Para conocer los nacimientos y sus características se recopilaron e integraron los datos del Subsistema de Información sobre Nacimientos (SINAC), provenientes de la Dirección General de Información en Salud (DGIS) de la Secretaría de Salud de México (2022). Esta base de datos recopila los registros individuales de cada certificado de nacimiento del país, incluyendo datos de la madre, del nacido y del nacimiento, incluyendo la identificación de la localidad de residencia de la madre. Los datos disponibles abarcan del año 2008 al 2021. Sin embargo, los datos previos a 2017 no cuentan con clave geoestadística de la localidad, por lo que no es posible identificar con certeza la ubicación de cada localidad y por lo tanto fueron descartados. A nivel nacional, un total de 9,260,703 registros de nacimientos del periodo de estudio (2017-2021) fueron integrados y georreferenciados, de éstos, se seleccionaron únicamente aquellos nacimientos en los que la madre residía dentro de los límites geográficos de la provincia petrolera de Burgos. Finalmente, se analizaron exclusivamente los datos de aquellos bebés nacidos vivos de un embarazo único, permitiendo así una muestra más homogénea y representativa de la población infantil y de su diagnóstico al nacer, resultando en 153,262 registros de nacimientos seleccionados.

De estos registros, se analizaron los datos de aquellos recién nacidos que al momento del nacimiento fueron diagnosticados con alguna malformación congénita, deformidad o anomalía cromosómica, de acuerdo con la Clasificación Internacional de Enfermedades décima edición (CIE-10, códigos agrupados del Q00 al Q99). Para el periodo de estudio se identificó el siguiente número de casos:

10

Impactos al desarrollo fetal por proximidad a pozos de gas "natural" (fósil): anomalías congénitas y genéticas en recién nacidos en la provincia petrolera de Burgos 2017-2021

TABLA 1.

**ANOMALÍAS EN EL DESARROLLO FETAL (CONGÉNITAS Y GENÉTICAS) Y NÚMERO DE CASOS DE LA PROVINCIA DE BURGOS**

CÓDIGO	AFECCIONES	NÚMERO DE CASOS
Q00 - Q07	Malformaciones congénitas del sistema nervioso	89
Q10 - Q18	Malformaciones congénitas de los ojos, oído, cara y cuello	115
Q20 - Q28	Malformaciones congénitas del sistema circulatorio	30
Q30 - Q34	Malformaciones congénitas del sistema respiratorio	6
Q35 - Q37	Fisura del paladar y labio leporino	104
Q38 - Q45	Otras malformaciones congénitas del sistema digestivo	64
Q50 - Q56	Malformaciones congénitas de los órganos genitales	160
Q60 - Q64	Malformaciones congénitas del sistema urinario	12
Q65 - Q79	Malformaciones y deformidades congénitas del sistema osteomuscular	376
Q80 - Q89	Otras malformaciones congénitas	58
Q90 - Q99	Anomalías cromosómicas no clasificadas en otra parte	58

Fueron eliminados del análisis las malformaciones congénitas del sistema respiratorio (Q30-Q34) y las malformaciones congénitas del sistema urinario (Q60-Q64) por presentar un número de casos diagnosticados muy bajo en el periodo de estudio para la provincia de Burgos (6 y 12 casos respectivamente). Una de las limitaciones de utilizar esta base de datos es la incertidumbre en torno al número de subregistros (Boulet, 2006), ya que algunas malformaciones pueden no ser evidentes en el momento del nacimiento y pueden requerir pruebas diagnósticas especializadas. Un sistema de vigilancia epidemiológica nacional que dé seguimiento al número de casos de malformación congénita, deformidad o anomalía cromosómica, más allá del certificado de nacimiento, permitiría contar con mejores datos. En México sólo se cuenta con estos sistemas de manera parcial y sin datos abiertos.

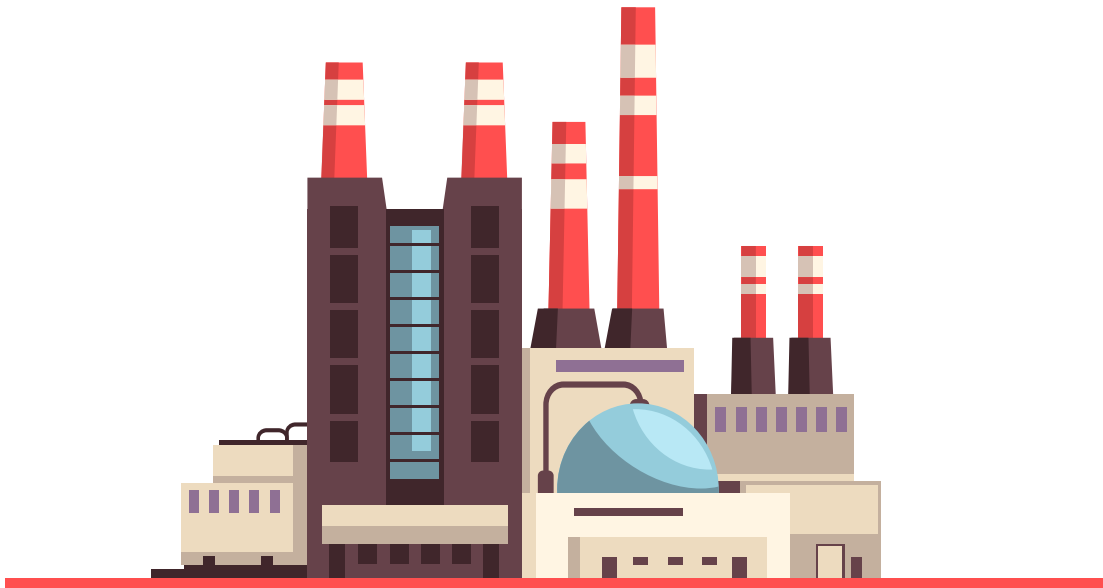
**POZOS DE GAS**

La información con respecto a la ubicación de los pozos de gas en México se obtuvo del *Mapa de la Industria de Hidrocarburos*, portal cartográfico público de la Comisión Nacional de Hidrocarburos (2022a), y la producción por pozo, para cada

año del periodo de estudio, se obtuvo del portal del *Sistema de Información de Hidrocarburos* de la Comisión Nacional de Hidrocarburos (2022c). Para el periodo de estudio se identificaron 9,524 pozos activos productores de gas asociado y no asociado en México, y 8,348 pozos activos productores de petróleo. Fue necesario consultar también la información de pozos de gas y petróleo en el estado de Texas en Estados Unidos cercanos a la frontera con México ya que, de lo contrario, ciudades como Nuevo Laredo y Reynosa parecería que no tienen exposición a los pozos de gas en México, o que ésta es muy baja, lo cual sería equivocado pues existen múltiples pozos de gas en suelo estadounidense cercanos a estas ciudades mexicanas. Para identificar los pozos de hidrocarburos de Texas se consultó el mapa *U.S. Energy Atlas* del Energy Information Administration (EIA, 2021).

La identificación de pozos activos en México durante el periodo de estudio se hizo de forma anual, agrupando para ello los datos disponibles de producción mensual de cada pozo. Los pozos se georreferenciaron y se analizó espacialmente su producción para identificar un área de estudio en el país cuya producción de hidrocarburos durante el periodo de estudio fuera exclusivamente de gas fósil, seleccionado la provincia petrolera de Burgos, debido a que se dedica principalmente a la extracción de gas y no hay contaminación adicional derivada de la actividad de refinerías, centrales petroquímicas o extracción de petróleo. Para los pozos de Estados Unidos no fue posible analizar la producción por pozo de manera anual, pero según la EIA, estos son pozos probablemente activos.

Para determinar el nivel de exposición a los pozos activos de gas de la localidad de residencia de las madres durante el embarazo, se exploró en un radio de 10 millas (16.09 kilómetros) el número de pozos activos y la distancia a éstos desde cada localidad, de conformidad con la metodología de McKenzie y Janitz. Esto se hizo mediante el método de distancia inversa ponderada (IDW, por sus siglas en inglés), ya que es una metodología comúnmente usada para estimar el nivel de exposición a contaminantes provenientes de múltiples fuentes fijas. Esta metodología cuantifica todos los pozos existentes en el radio determinado y asigna un valor más alto a los pozos más cercanos a la localidad. Como resultado, una localidad con un IDW más alto, es aquella que tiene mayor exposición en número y cercanía a los pozos de gas activos. A su vez, los resultados de IDW de las localidades fueron segmentados en terciles para catalogar el nivel exposición de cada localidad en baja, media y alta. El IDW con valor de 0 constituye el grupo de control para este estudio, es decir, aquellas localidades de residencia de las madres durante el embarazo, ubicadas dentro de la provincia petrolera de Burgos, que no tienen exposición a los pozos de gas fósil en un radio de 10 millas (ver mapa 1, pág. 22).



## Análisis estadístico

Por medio de regresiones logísticas se estimó el valor de los Odds Ratio (OR) y sus intervalos de confianza al 95% (IC 95%) entre cada padecimiento y su nivel de exposición a los pozos de gas, y sobre de estos resultados se hizo un análisis de tendencia por medio de la prueba de Cochran-Armitage.

El OR, llamado también en español razón de momios o cociente de probabilidades (Cerdea *et al.*, 2013), es una medida comúnmente utilizada en investigaciones de salud para estimar el nivel de ocurrencia y no ocurrencia de un fenómeno (en este caso una malformación congénita), ante la presencia o ausencia de exposición a un elemento externo (en este caso la exposición a pozos de gas). Es decir, por medio del OR podemos estimar el número de veces mayor, igual o menor de que ocurra una malformación congénita en la población expuesta a la actividad petrolera, en comparación a la población sin exposición a la actividad petrolera.

El rango de valores de los OR va de cero a infinito. Si el valor de OR es igual a 1 (OR 1.0), significa que la presencia o ausencia de la exposición no tiene efecto alguno sobre la población en estudio, si el OR es menor que 1 (OR < 1.0), significa que la presencia de la exposición está asociada a una menor ocurrencia del evento en cuestión con respecto del grupo de control (del grupo sin exposición). Y si el OR es mayor que 1.0, esto es el número de veces adicional que se presenta el evento en cuestión ante la presencia de la exposición. Por ejemplo, un OR de 1.5 significaría que, si en una población sin exposición existe una tasa de 10 personas con una malformación congénita, ante la presencia de la exposición esta tasa sería de 15 personas.

El intervalo de confianza del 95% permite conocer si la predicción del OR es estadísticamente significativa, es una medida de precisión de la variabilidad del OR. Es decir, de repetirse el estudio con múltiples muestras, el intervalo de confianza nos dice con 95% de probabilidad el rango de valores (mínimo y máximo) entre los que podría encontrarse el OR. Si el intervalo de confianza incluye entre su rango al 1.0, que es el valor nulo o de no efecto, significa que el OR bien podría ser de no efecto. Por ejemplo, un OR de 1.27 con intervalo de confianza de 0.76 – 2.13, incluye al 1.00 entre el IC 95%, por lo que en ese caso se dice que el OR es poco preciso y no tiene significancia estadística. Con una muestra mayor de datos, la precisión del OR se puede mejorar.

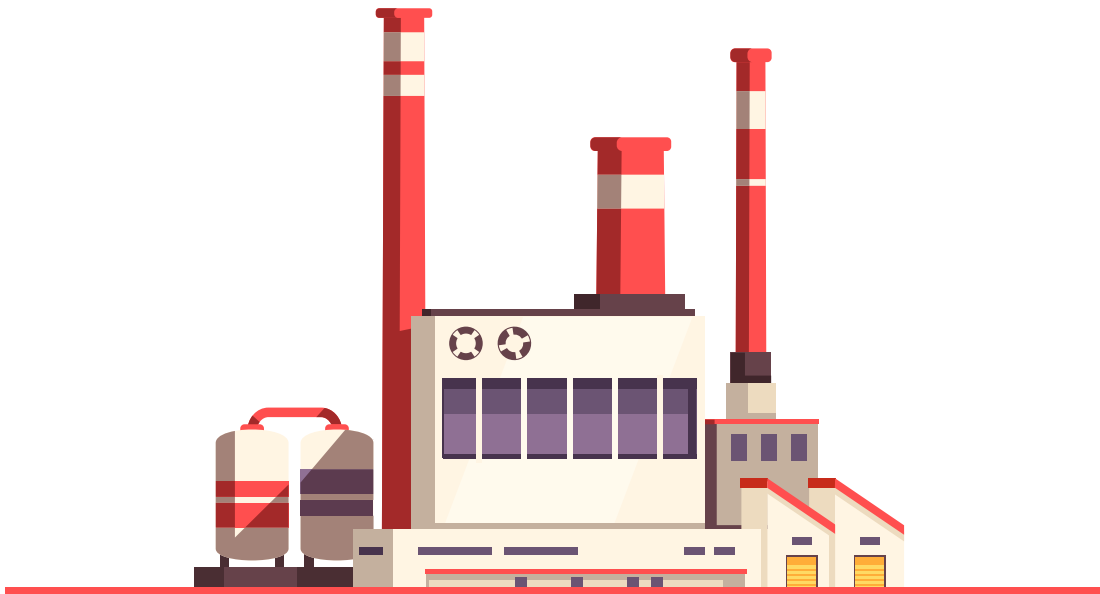
La prueba de tendencia de Cochran-Armitage es un tipo de análisis estadístico para determinar la existencia de una tendencia lineal en los datos. Fue utilizada para identificar si hay una tendencia positiva entre el OR de cada malformación o anomalía y el nivel de exposición a los pozos de gas. Si el OR aumenta progresivamente ante una mayor exposición, se puede decir que hay una tendencia positiva, comprobada estadísticamente en esta prueba por medio del valor p menor a 0.05, ( $p < 0.05$ ), en cuyo caso se confirma la existencia de una tendencia con un 95% de probabilidad.

Los datos analizados para la provincia de Burgos son los siguientes:

TABLA 2.

**CLASIFICACIÓN DE LA POBLACIÓN DE RECIÉN NACIDOS POR ANOMALÍA EN EL DESARROLLO FETAL Y GRADO DE EXPOSICIÓN EN LA PROVINCIA PETROLERA DE BURGOS**

CATEGORÍA	NIVEL DE EXPOSICIÓN A POZOS DE GAS			
	SIN EXPOSICIÓN	BAJA	MEDIA	ALTA
Nacimientos de embarazo único	42.388	16.294	62.161	32.419
Malformaciones congénitas del sistema nervioso	22	7	41	19
Malformaciones congénitas de los ojos, oído, cara y cuello	25	15	48	27
Malformaciones congénitas del sistema circulatorio	4	2	14	10
Fisura del paladar y labio leporino	16	15	51	22
Otras malformaciones congénitas del sistema digestivo	5	8	33	18
Malformaciones congénitas de los órganos genitales	30	14	83	33
Malformaciones y deformidades congénitas del sistema osteomuscular	82	46	176	72
Otras malformaciones congénitas	10	7	31	10
Anomalías cromosómicas no clasificadas en otra parte	17	7	29	5



## Resultados y discusión

De los 9 grupos de anomalías en el desarrollo fetal analizados para la provincia petrolera de Burgos, se encontró en todos los casos un aumento en la prevalencia de éstos en distinto grado, en la población expuesta a la actividad petrolera de extracción de gas, con respecto de aquella población sin exposición. Los aumentos de prevalencia van desde ligeros e imprecisos, hasta aumentos estadísticamente significativos con tendencias de aumento a mayor exposición.

TABLA 3.

### PRINCIPALES RESULTADOS

ANOMALÍA EN EL DESARROLLO FETAL	PRINCIPALES RESULTADOS
Malformaciones congénitas del sistema nervioso	Ligero aumento impreciso de prevalencia ante actividad extractiva de gas. Mayor OR en exposición media, de 1.27 (IC 95% 0.76 - 2.13).
Malformaciones congénitas de los ojos, oído, cara y cuello	Aumento impreciso de prevalencia ante actividad extractiva de gas. Mayor OR en exposición baja, de 1.56 (IC 95% 0.82 - 2.96).
Malformaciones congénitas del sistema circulatorio	Tendencia de aumento de prevalencia a mayor exposición (tendencia con valor $p < 0.05$ ). Mayor OR ante exposición alta de 3.27 (IC 95% 1.03 - 10.43).
Fisura del paladar y labio leporino	Tendencia imprecisa de aumento de prevalencia a mayor exposición (tendencia con valor $p = 0.052$ ). Mayor OR ante exposición baja de 2.44 (IC 95% 1.21 - 4.94).



Los resultados más elevados en prevalencia y con tendencias positivas de aumento conforme la exposición a los pozos de gas es mayor, lo tienen las malformaciones congénitas del sistema digestivo, seguidas por malformaciones del sistema circulatorio y de los órganos genitales.

Otras malformaciones congénitas del sistema digestivo	Tendencia de aumento de prevalencia a mayor exposición (tendencia con valor $p < 0.01$ ). Mayor OR ante exposición alta de 4.71 (IC 95% 1.75 - 12.69).
Malformaciones congénitas de los órganos genitales	Tendencia de aumento de prevalencia a mayor exposición (tendencia con valor $p < 0.05$ ). Mayor OR ante exposición alta de 1.89 (IC 95% 1.24 - 2.87).
Malformaciones y deformidades congénitas del sistema osteomuscular	Aumento de prevalencia con actividad extractiva de gas. Mayor OR ante exposición media, de 1.46 (IC 95% 1.13 - 1.90).
Otras malformaciones congénitas	Aumento de prevalencia con actividad extractiva de gas. Mayor OR ante exposición media, de 2.11 (IC 95% 1.04 - 4.31).
Anomalías cromosómicas no clasificadas en otra parte	Ligero aumento impreciso de prevalencia ante actividad extractiva de gas. Mayor OR en exposición media, de 1.16 (IC 95% 0.64 - 2.12).

Sobre la fisura del paladar y labio leporino no se logró determinar con precisión una tendencia positiva, sin embargo, su prevalencia es igualmente significativa.

En la tabla 4 se pueden ver los resultados completos de los análisis estadísticos, se marcó en color verde claro los resultados con  $OR > 1$ , y en color verde oscuro los resultados con  $OR > 1$  y con intervalo de confianza estadísticamente significativo.

TABLA 4.

**RESULTADO DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE ANOMALÍAS EN EL DESARROLLO FETAL POR GRADO DE EXPOSICIÓN EN LA PROVINCIA PETROLERA DE BURGOS**

	NIVEL DE EXPOSICIÓN A POZOS DE GAS				PRUEBA DE TENDENCIA DE COCHRAN-ARMITAGE
	SIN EXPOSICIÓN	BAJA	MEDIA	ALTA	VALOR P
Nacimientos de embarazo único	42,388	16,294	62,161	32,419	
<b>MALFORMACIONES CONGÉNITAS DEL SISTEMA NERVIOSO</b>					
Número de casos	22	7	41	19	
OR		0.83	<b>1.27</b>	<b>1.13</b>	0.43
Intervalo de confianza 95%		(0.35 - 1.94)	(0.76 - 2.13)	(0.61 - 2.09)	
Tasa por 100,000 nacimientos	52	43	66	59	
<b>MALFORMACIONES CONGÉNITAS DE LOS OJOS, OÍDO, CARA Y CUELLO</b>					
Número de casos	25	15	48	27	
OR		<b>1.56</b>	<b>1.31</b>	<b>1.41</b>	0.26
Intervalo de confianza 95%		(0.82 - 2.96)	(0.81 - 2.12)	(0.82 - 2.43)	
Tasa por 100,000 nacimientos	59	92	77	83	
<b>MALFORMACIONES CONGÉNITAS DEL SISTEMA CIRCULATORIO</b>					
Número de casos	4	2	14	10	
OR		<b>1.30</b>	<b>2.39</b>	<b>3.27</b>	<b>&lt;0.05</b>
Intervalo de confianza 95%		(0.24 - 7.10)	(0.79 - 7.25)	(1.03 - 10.43)	
Tasa por 100,000 nacimientos	9	12	23	31	
<b>FIGURA DEL PALADAR Y LABIO LEPORINO</b>					
Número de casos	16	15	51	22	
OR		<b>2.44</b>	<b>2.17</b>	<b>1.80</b>	0.05
Intervalo de confianza 95%		(1.21 - 4.94)	(1.24 - 3.81)	(0.94 - 3.42)	
Tasa por 100,000 nacimientos	38	92	82	68	
<b>OTRAS MALFORMACIONES CONGÉNITAS DEL SISTEMA DIGESTIVO</b>					
Número de casos	5	8	33	18	
OR		<b>4.16</b>	<b>4.50</b>	<b>4.71</b>	<b>&lt;0.01</b>
Intervalo de confianza 95%		(1.36 - 12.73)	(1.76 - 11.53)	(1.75 - 12.69)	
Tasa por 100,000 nacimientos	12	49	53	56	
<b>MALFORMACIONES CONGÉNITAS DE LOS ÓRGANOS GENITALES</b>					
Número de casos	30	14	83	33	
OR		<b>1.21</b>	<b>1.89</b>	<b>1.44</b>	<b>&lt;0.05</b>
Intervalo de confianza 95%		(0.64 - 2.29)	(1.24 - 2.87)	(0.88 - 2.36)	
Tasa por 100,000 nacimientos	71	86	134	102	
<b>MALFORMACIONES Y DEFORMIDADES CONGÉNITAS DEL SISTEMA OSTEOMUSCULAR</b>					
Número de casos	82	46	176	72	
OR		<b>1.46</b>	<b>1.46</b>	<b>1.15</b>	0.16
Intervalo de confianza 95%		(1.02 - 2.10)	(1.13 - 1.90)	(0.84 - 1.58)	
Tasa por 100,000 nacimientos	193	282	283	222	
<b>OTRAS MALFORMACIONES CONGÉNITAS</b>					
Número de casos	10	7	31	10	
OR		<b>1.82</b>	<b>2.11</b>	<b>1.31</b>	0.31
Intervalo de confianza 95%		(0.69 - 4.79)	(1.04 - 4.31)	(0.54 - 3.14)	
Tasa por 100,000 nacimientos	24	43	50	31	
<b>ANOMALÍAS CROMOSÓMICAS NO CLASIFICADAS EN OTRA PARTE</b>					
Número de casos	17	7	29	5	
OR		<b>1.07</b>	<b>1.16</b>	0.38	0.22
Intervalo de confianza 95%		(0.44 - 2.58)	(0.64 - 2.12)	(0.14 - 1.04)	
Tasa por 100,000 nacimientos	40	43	47	15	

nivel de exposición a pozos de gas en la Provincia Petrolera de Burgos y las anomalías en el desarrollo fetal. Algunos de los hallazgos más significativos incluyen:

- Se encontró una clara tendencia estadísticamente significativa (con un valor  $p < 0.01$  y  $< 0.05$ ) entre el aumento en el nivel de exposición a pozos de gas y la mayor incidencia de malformaciones congénitas del sistema digestivo y del sistema circulatorio.
- También se encontró una tendencia estadísticamente significativa (con un valor  $p < 0.05$ ) entre la exposición a pozos de gas asociada a una tasa más alta de malformaciones congénitas en los órganos genitales, y fisura del paladar y labio leporino.
- Además de las malformaciones en los sistemas mencionados, también se observaron malformaciones en los ojos, oído, cara y cuello, y sistema osteomuscular, asociadas a la exposición a los pozos de gas.

En el Mapa 1 se muestra el área más densamente habitada de la provincia petrolera de Burgos en el norte de los estados de Nuevo León y Tamaulipas. En el mapa es posible identificar los pozos activos de gas de la provincia de Burgos (puntos amarillos), el área de 10 millas alrededor de los pozos activos (con sombreado azul), así como las localidades (puntos grises) y su nivel de exposición determinado por el IDW (recuadros con rampa secuencial de color de blanco a rojo). Además, en el mapa de ubicación puede verse la provincia Burgos completa, así como las otras tres principales provincias petroleras (Tampico-Misantla, Veracruz, y Sureste).

La Tabla 5 proporciona información sobre la población total en el área de Burgos, con datos actualizados de Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) para marzo de 2020 (INEGI, 2022). Según los datos, la población total es de poco más de dos millones de personas, y se concentra en Tamaulipas (98.8%), seguida de Nuevo León (1.2%) y Coahuila (0.1%). De la población total, el 29% vive en regiones sin exposición, el 12% tiene exposición baja, el 38% tiene exposición media, y el 21% tiene exposición alta a los pozos de gas activos. La mayor concentración de población con alta exposición se encuentra en el municipio de Nuevo Laredo (Tamaulipas) con 416 mil 55 personas, seguido de Reynosa (Tamaulipas) con 697 mil 555 personas con exposición media.

Es importante destacar que, aunque el estudio se enfoca específicamente sobre el riesgo de malformaciones congénitas en los recién nacidos, la población en gene-

ral de la provincia petrolera de Burgos puede estar expuesta a diferentes niveles de contaminación según su cercanía a los pozos de gas. Como se muestra en la Tabla 5, el 71% de la población reside en áreas con niveles bajos, medios o altos de exposición a los pozos activos de gas, mientras que solo el 29% vive en áreas sin exposición. Es decir, aunque el estudio solo se enfoca en el riesgo de malformaciones congénitas, la exposición a los contaminantes puede afectar a toda la población, independientemente de su edad, género o estado de gestación.

TABLA 5.

**POBLACIÓN POR NIVEL DE EXPOSICIÓN  
EN LA PROVINCIA PETROLERA DE BURGOS**

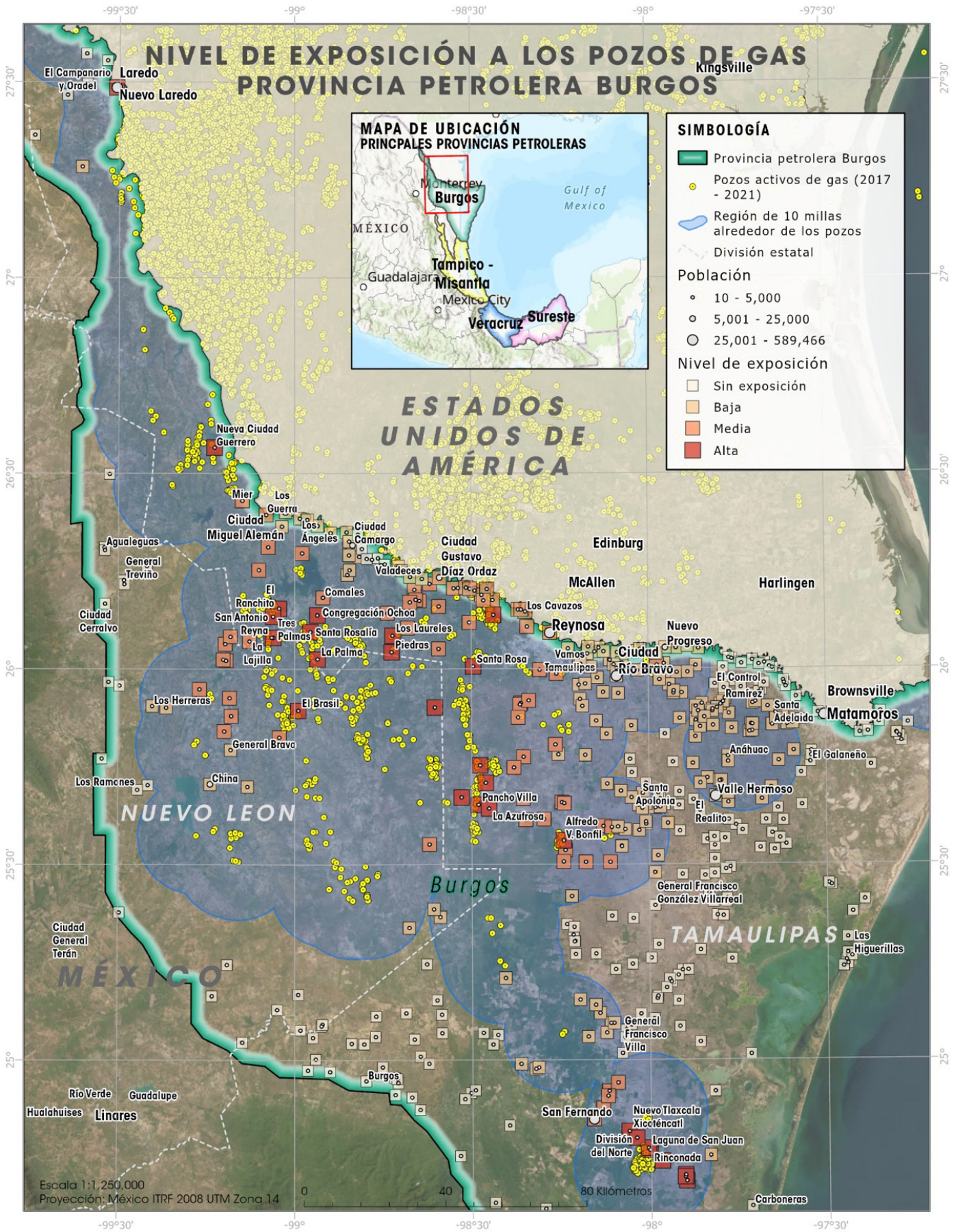
ENTIDAD / MUNICIPIO	POBLACIÓN POR NIVEL DE EXPOSICIÓN				
	SIN EXPOSICIÓN	BAJA	MEDIA	ALTA	TOTAL
<b>Coahuila</b>		<b>1,674</b>			<b>1,674</b>
Hidalgo		1,674			1,674
<b>Nuevo León</b>	<b>6,299</b>	<b>13,865</b>	<b>2,932</b>	<b>79</b>	<b>23,175</b>
Agualeguas	2,080				2,080
Anáhuac	634				634
Cerralvo	107				107
China	726	8,295	1		9,022
Doctor Coss			1,083	76	1,159
General Bravo		4,036	554	3	4,593
General Terán	17				17
General Treviño	1,576				1,576
Los Aldamas			1,294		1,294
Los Herreras	237	1,534			1,771
Los Ramones	182				182
Parás	740				740

ENTIDAD / MUNICIPIO	POBLACIÓN POR NIVEL DE EXPOSICIÓN				
	SIN EXPOSICIÓN	BAJA	MEDIA	ALTA	TOTAL
<b>Tamaulipas</b>	<b>582,360</b>	<b>25,601</b>	<b>753,684</b>	<b>422,965</b>	<b>1,984,610</b>
Abasolo	3,072				3,072
Aldama	583				583
Burgos	2,939				2,939
Camargo	1,594	11,789	2,307	358	16,048
Cruillas	1,327				1,327
Guerrero				3,451	3,451
Gustavo Díaz Ordaz		2,074	13,234	21	15,329
Jiménez	42	228			270
Matamoros	527,399	5,593			532,992
Méndez	2,841	458			3,299
Mier			6,061		6,061
Miguel Alemán		20,472	4,894	135	25,501
Nuevo Laredo	692	-		416,055	416,747
Reynosa		694	697,555	1,899	700,148
Río Bravo	1,329	128,131	570		130,030
San Fernando	17,484	1,776	29,063	1,046	49,369
Soto la Marina	19,533				19,533
Valle Hermoso	3,525	54,386			57,911
<b>Total</b>	<b>588,659</b>	<b>241,140</b>	<b>756,616</b>	<b>423,044</b>	<b>2,009,459</b>

MAPA 1.

## NIVEL DE EXPOSICIÓN A LOS POZOS DE GAS EN LA PROVINCIA PETROLERA DE BURGOS

SIGUIENTE PÁGINA



Es importante destacar que los resultados de este estudio proporcionan una evidencia sólida sobre la asociación existente entre el nivel de exposición a pozos de gas y las malformaciones congénitas en el desarrollo fetal. A partir de estos resultados es posible inferir que la exposición a pozos de gas puede tener un impacto negativo en la salud fetal. Los resultados más alarmantes incluyen la asociación entre la exposición alta a pozos de gas y las malformaciones en el sistema circulatorio y digestivo. Estas malformaciones pueden tener graves consecuencias en la salud y calidad de vida de los niños afectados.

Los resultados aquí presentados coinciden con estudios realizados en Colorado y Oklahoma (McKenzie *et al.*, 2014 y Janitz *et al.*, 2018) que también muestran resultados similares en cuanto a la asociación entre malformaciones congénitas y la actividad de pozos de gas fósil. En el estudio de Colorado se encontró que existe una asociación positiva entre la presencia de pozos de gas dentro de un radio de 10 millas de la residencia materna y las malformaciones congénitas del corazón, las malformaciones del tubo neural y las fisuras orales. Las tasas aumentaron en el segundo y tercer tercio de la presencia de pozos de gas. Por su parte, en el estudio de Oklahoma, se encontró una asociación positiva entre la actividad de pozos de gas dentro de un radio de 2 millas de la residencia al nacer y las malformaciones congénitas del corazón, las malformaciones del tubo neural y las fisuras orales. Sin embargo, los resultados fueron menos claros que los del estudio de Colorado, con un aumento en las tasas en los grupos con mayor actividad de pozos de gas, pero sin llegar a ser estadísticamente significativo en todos los casos.

En conjunto, los estudios realizados en Burgos, Colorado y Oklahoma sugieren una asociación entre la actividad de pozos de gas fósil y las malformaciones congénitas; por ende, son relevantes para entender el impacto de la extracción de metano en la salud fetal y deben ser tomados en cuenta en la toma de decisiones reguladoras. Estos resultados indican la necesidad de continuar investigando los efectos de la exposición a pozos de gas en la salud fetal y desarrollar medidas efectivas para proteger a la población vulnerable.



## Conclusiones

Por medio de este estudio de cohorte retrospectivo de 5 años, se identificó una asociación positiva entre la cercanía a los pozos de gas con el lugar de residencia de las madres durante el embarazo y la presencia de malformaciones congénitas del sistema digestivo, del sistema circulatorio, de los órganos genitales, y de fisura del paladar y labio leporino en los recién nacidos. De confirmarse esta relación, sería necesario revisar las regulaciones ambientales y de salud vigentes para el sector extractivo de hidrocarburos, pues éstas resultarían ser insuficientes. Este estudio es coincidente con hallazgos reportados por McKenzie y Janitz para Colorado y Oklahoma. Cabe señalar que la provincia petrolera de Burgos presenta una mayor prevalencia de anomalías ante la exposición a los pozos de gas con respecto de las anomalías estudiadas en Colorado y Oklahoma.

El 71% de la población de Burgos reside en áreas con niveles bajos, medios o altos de exposición a los pozos activos de gas fósil. Aunque este estudio sólo se enfoca en el riesgo de malformaciones congénitas, la exposición a los contaminantes puede afectar a toda la población, independientemente de su edad, género o estado de gestación.

Gozar de un medio ambiente sano y contar con un nivel de vida adecuado, son derechos humanos reconocidos por el marco jurídico mexicano,<sup>7</sup> por lo tanto, se convierten en obligaciones de Estado cuya realización no es negociable. Los hallazgos de este estudio deben ser considerados por las autoridades en la toma de

**7 Artículo 12 del Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales; Artículo 4 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.**



decisiones relacionadas con el sector hidrocarburos en tanto que sus emisiones generan impactos negativos en la atmósfera y en la salud de las personas. Promover y profundizar el uso de hidrocarburos, entre ellos el gas, a sabiendas de las afectaciones constituye un alto riesgo en el cumplimiento de estos derechos humanos.

Es posible mejorar estos resultados con nuevos estudios, ajustando las estimaciones por factores como la marginación, la etnicidad, el grado de educación o el perfil ocupacional de la madre, así como por el peso de los recién nacidos y la edad gestacional al momento del nacimiento. De igual forma, mejores fuentes de información (actualmente no disponibles) podrían ser utilizadas, en particular con respecto de la geolocalización de las residencias maternas durante el embarazo, de los diagnósticos de anomalías en el desarrollo fetal más allá de los certificados de nacimiento, así como de la producción de gas y volumen de emisiones y contaminantes generados por cada pozo.

## Bibliografía

- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATDSR). (2007). *Toxicological Profile for Benzene*. Atlanta, GA. Disponible en: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp.asp?id=40&tid=14>. Consultado en noviembre de 2022.
- Ashmore, M.R. (2005). *Assessing the future global impacts of ozone on vegetation*. *Plant, Cell & Environment*, 28: 949-964. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2005.01341.x>. Consultado en febrero de 2023.
- Bolden, A., Kwiatkowski, C., Colborn, T. (2015). *New Look at BTEX: Are Ambient Levels a Problem?* *Environmental Science & Technology* 2015 49 (9). Disponible en: <https://doi.org/10.1021/es505316f>. Consultado en febrero de 2023.
- Boulet SL, Correa-Villaseñor A, Hsia J, Atrash H. (2006). *Feasibility of using the national hospital discharge survey to estimate the prevalence of selected birth defects*. *Birth Defects Res A Clin Mol Teratol*. 2006 Nov;76(11):757-61. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/bdra.20291>. Consultado en febrero de 2023.
- Bukowski JA. (2001). *Review of the epidemiological evidence relating toluene to reproductive outcomes*. *Regul Toxicol and Pharmacol* 33:147-156. Disponible en: <https://doi.org/10.1006/rtph.2000.1448>. Consultado en noviembre de 2022.
- Butler, S.C., Als, H. (2020). *Screening: Newborn and Maternal Well-Being*. *Encyclopedia of Infant and Early Childhood Development (Second Edition)*. Else-

vier, 2020, Pages 65-78. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809324-5.05880-6>. Consultado en noviembre de 2022.

Cerda, Jaime, Vera, Claudio, & Rada, Gabriel. (2013). *Odds ratio: aspectos teóricos y prácticos*. Revista médica de Chile, 141(10), 1329-1335. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.4067/S0034-98872013001000014>. Consultado en noviembre de 2022.

Comisión Nacional de Hidrocarburos. (2022a). *Mapa de la industria de Hidrocarburos. Pozos*. Centro Nacional de Información de Hidrocarburos (CNIH). Información actualizada al 6 de octubre de 2022. Disponible en: <https://mapa.hidrocarburos.gob.mx/>

Comisión Nacional de Hidrocarburos. (2022b). *Sistema de Información de Hidrocarburos. Balance de gas (Datos del flujo de producción mensual de gas)*. Disponible en: <https://sih.hidrocarburos.gob.mx/> Consultado en septiembre de 2022.

Comisión Nacional de Hidrocarburos. (2022c). *Sistema de Información de Hidrocarburos. Producción por pozo*. Disponible en: <https://sih.hidrocarburos.gob.mx/> Consultado en septiembre de 2022.

Comisión Nacional de Hidrocarburos. (2022d). *Sistema de Información de Hidrocarburos. Producción por ubicación (datos de producción mensual cuenca y ubicación)*. Disponible en: <https://sih.hidrocarburos.gob.mx/> Consultado en septiembre de 2022.

Energy Information Administration. (2021). *U.S. Energy Atlas*. Disponible en: <https://>

atlas.eia.gov/apps/5039a1a01ec34b6bbf0ab4fd57da5eb4/explore. Consultado en noviembre de 2022.

Fang, Y., Naik, V., Horowitz, L.W., Mauzerall, D.L., 2013. *Air pollution and associated human mortality: the role of air pollutant emissions, climate change and methane concentration increases from the preindustrial period to present*. Atmos. Chem. Phys. 13, 1377–1394. <https://doi.org/10.5194/acp-13-1377-2013>

IEA. (2021). *World Energy Balances: Overview*. IEA, Paris. Disponible en: <https://www.iea.org/reports/world-energy-balances-overview>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2022. *Catálogo Único de Claves de Áreas Geoestadísticas Estatales, Municipales y Localidades*. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/app/ageeml/>. Consultado en septiembre de 2022.

Janitz, A., Dung Dao, H., Campbell, J., Stoner, J., Peck, J. (2018). The association between natural gas well activity and specific congenital anomalies in Oklahoma, 1997–2009. *Environment International*, Volume 122, 2019, Pages 381–388. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412018317999>. Consultado en noviembre 2022.

Mar, K., Unger, C., Walderdorff, L., Butler, T. (2022). Beyond CO2 equivalence: The impacts of methane on climate, ecosystems, and health. *Environmental Science & Policy*, Volume 134, 2022, Páginas 127–136. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1462901122001204>. Consultado en noviembre 2022.

- McKenzie LM, Guo R, Witter RZ, Savitz DA, Newman LS, Adgate JL. (2014). Birth outcomes and maternal residential proximity to natural gas development in rural Colorado. *Environ Health Perspect* 122:412–417. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.1306722>, consultado en noviembre 2022.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2022). Anomalías congénitas. En <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/congenital-anomalies>. Consultado en noviembre de 2022.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2019). Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE) 10 edición para estadísticas de mortalidad y morbilidad. Disponible en: <https://icd.who.int/browse10/2019/en#/XVII>. Consultado en septiembre de 2022.
- Ortiz, M y Medina, ME. (2020). Estrés oxidativo ¿un asesino silencioso? *Educación química*. 2020, vol. 31, n.1. Disponible en: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-893X2020000100002](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-893X2020000100002). Consultado en noviembre de 2022.
- Ritchie, H., Roser, M., Rosado, P. (2022). Energy. Disponible en línea en: <https://github.com/owid/energy-data>. Consultado el 22 de noviembre de 2022
- Secretaría de Salud. (2022). Subsistema de Información sobre Nacimientos (SINAC). Dirección General de Información en Salud (DGIS) actualizado el 17 de mayo de 2022. Disponible en línea en: [http://www.dgis.salud.gob.mx/contenidos/basesdedatos/da\\_nacimientos\\_gobmx.html](http://www.dgis.salud.gob.mx/contenidos/basesdedatos/da_nacimientos_gobmx.html) Consultado el 12 de septiembre de 2022.

30

Impactos al desarrollo fetal por proximidad a pozos de gas "natural" (fósil): anomalías congénitas y genéticas en recién nacidos en la provincia petrolera de Burgos 2017-2021



