

LA CARTOGRAFÍA DE RIESGO COMO INSTRUMENTO TÉCNICO PARA LA REUBICACIÓN DE LA INDUSTRIA LADRILLERA DEL MUNICIPIO DE JUÁREZ, MÉXICO

Alba Yadira CORRAL AVITIA, Antonio DE LA MORA COVARRUBIAS,
Alma Delia COTA ESPERICUETA, Rafael CORRAL DÍAZ,
Katya Aimeé CARRASCO URRUTIA y Laura Elena SANTANA CONTRERAS

Instituto de Ciencias Biomédicas, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Apartado Postal 32310, Zona Pronaf, Ciudad Juárez, Chihuahua, México. acorral@uacj.mx

(Recibido marzo 2008, aceptado agosto 2009)

Palabras clave: ladrilleras, análisis multicriterio, sistemas de información geográfica

RESUMEN

En Ciudad Juárez, Chihuahua, la industria ladrillera se ha incrementado desde la década de los sesenta a la par del crecimiento urbano. Los 312 hornos ladrilleros distribuidos en distintos sectores dentro del área urbana representan un problema ambiental. El objetivo del estudio fue determinar áreas geográficas idóneas en el Municipio de Juárez para la reubicación de la industria ladrillera, a fin de minimizar el riesgo ambiental. Se utilizó la técnica de análisis multicriterio (AMC) con base cartográfica digital en un sistema de información geográfica (SIG). Los factores seleccionados para el análisis incluyen aspectos biofísicos, sociales y económicos. Para determinar el efecto de la operación de los hornos se definió una escala estimativa de riesgo de nueve dígitos mediante un análisis jerárquico multicriterio y la técnica Delphi modificada. Los factores ponderados se cartografiaron en el SIG con la extensión Spatial Analysis[®]. De la superposición de los mapas se obtuvieron polígonos con diferentes grados de vulnerabilidad hacia la población y el ecosistema. En general, la zona urbana, la ladera Este de la Sierra Juárez, la zona de dunas y la región agrícola del Valle de Juárez cercana a la ciudad, resultaron ser áreas de alta vulnerabilidad para la operación de la industria ladrillera. 90.3 % de los hornos existentes están localizados en áreas de mediana a alta vulnerabilidad. Con los datos obtenidos en este estudio, la reubicación de las ladrilleras puede ser llevada a cabo bajo criterios técnicos sólidos, siempre y cuando vaya acompañada de una legislación pertinente al respecto.

Key words: brick kilns, multi-criteria analysis, geographic information systems

ABSTRACT

The brick kiln industry in Ciudad Juárez, Chihuahua, has been rapidly expanding with urban growth since 1960. There are currently 312 brick kilns distributed around the urban area of the city, which represent an environmental problem due to their negative effects. The objective of this study was to determine the best places in the Municipality of Juárez to relocate the brick kiln industry in order to minimize environmental risk. Multicriteria Analysis (MCA) based on digital cartography and a Geographical Infor-

mation System (GIS) were used. The factors selected for analysis included biophysical, social and economic aspects. In order to estimate the effects of brick kiln operation, a nine-level estimated risk scale was defined using hierarchical multicriteria analysis and the modified Delphi technique. The weighted factors were mapped in the GIS using the Spatial Analysis[®] extension. By superposing the maps, polygons showing the degree of population and ecosystem vulnerability were obtained. In general, the urban zone, the eastern slope of the Sierra Juárez, the dunes and the agricultural region in the Valle de Juárez near the city were found to be the most vulnerable zones for locating the brick kiln industry. Currently, 90.3 % of kilns are located in areas of medium to high vulnerability. Using the data obtained in this study, brick kilns in Ciudad Juárez can be relocated on the basis of reliable technical criteria, although the process will also have to comply with the respective regulations.

INTRODUCCIÓN

De la operación de hornos ladrilleros se derivan riesgos a la salud principalmente por las altas emisiones de contaminantes. En general, los factores de riesgo están clasificados de acuerdo a su peligrosidad, exposición y vulnerabilidad. La peligrosidad hace referencia al conjunto de características que crean un fenómeno dañino definido por su nivel de severidad y probabilidad de ocurrencia. La exposición corresponde al ámbito territorial o a la población susceptible de sufrir daño como resultado de un fenómeno natural catastrófico o de la presencia de una actividad tecnológica peligrosa. La vulnerabilidad está definida como la posibilidad de que una comunidad o un territorio sensibles experimenten daños tanto a corto como largo plazo (Ayala-Carcedo 2000, Bosque *et al.* 2005).

Las investigaciones referentes a los riesgos sobre la población que representan actividades tecnológicas potencialmente peligrosas se han centrado en estudios de vulnerabilidad y exposición territorial (Bosque *et al.* 2005). La caracterización y definición de ambas requiere una gran cantidad de información espacial, como datos referentes a la localización de elementos que pueden generar riesgos naturales o antrópicos, además de aspectos sociodemográficos, económicos y culturales (Ayala-Carcedo 2000, Aguirre-Murua 2005). La expresión cartográfica es una herramienta útil en la valoración y gestión de los riesgos al establecer una zonificación a partir de la combinación de mapas de niveles de peligrosidad, vulnerabilidad y exposición. La ejecución de cartografía de riesgos en ordenamiento territorial propone evitar daños a comunidades vulnerables. El mapa de riesgos resultante constituye una herramienta de orientación para planificar el uso de suelo (Aguirre-Murua 2005, Bosque *et al.* 2005).

La evaluación de riesgos trata de una valoración cualitativa, indirecta y con carácter predictivo donde

se definen zonas con diferentes niveles de riesgo, sin sustituir la ejecución de estudios pormenorizados sobre el terreno. Los sistemas de información geográfica (SIG) son instrumentos eficaces para la elaboración de cartografía de riesgos, con la característica de facilitar la incorporación de datos digitales de carácter espacial para análisis y modelación de fenómenos complejos (Aguirre-Murua 2005).

Un problema frecuente en el ámbito del ordenamiento del territorio es la toma de decisiones en actividades potencialmente peligrosas. En dichos casos, se debe resolver el conflicto entre los intereses generales y locales mediante un proceso de comunicación del riesgo. Diversos estudios han demostrado la aplicación de los SIG y el análisis de multicriterio (AMC) con el fin de presentar soluciones alternativas a los actores implicados en la controversia (Malczewsky 1999, Díaz-Muñoz y Díaz-Castillo 2002). Silva *et al.* (2006) describieron una metodología de SIG con AMC para determinar la ubicación más apropiada de sitios para la disposición de residuos sólidos urbanos. Mena *et al.* (2006) integraron la geomática y el AMC para generar un modelo de acogida para determinar los mejores sitios para la ubicación de un relleno sanitario. Peluso *et al.* (2003), mediante parámetros socioeconómicos, determinaron áreas geográficas de vulnerabilidad al consumo de agua potable contaminada. Ciminari *et al.* (2003) cartografiaron los conflictos ambientales en el área de los valles inferiores de los ríos Lima y Neuquén en Argentina, referidos a asentamientos urbanos en zonas inestables. Los resultados de tales estudios permitieron detectar las áreas problemáticas caracterizadas por alta densidad poblacional y asentamientos humanos espontáneos. Vatalis y Manoliadis (2002), usando factores ambientales, socioeconómicos y técnico-operativos, determinaron áreas seguras para la ubicación de un relleno sanitario. Con los mismos factores ambientales, Gallardo *et al.* (2005) desarro-

llaron la herramienta Localización de Instalaciones de Gestión de Residuos (LIGRE) que asociada a un SIG permite evaluar geográficamente zonas para determinar su aptitud como sitios de manejo de residuos. Tudela-Serrano *et al.* (2000) realizaron una búsqueda de áreas idóneas para la construcción de urbanizaciones mediante herramientas temáticas de análisis local, reclasificación y superposición de mapas, partiendo de criterios de carácter físico y económico.

Desde el plano teórico-científico, los mapas ambientales tienen una proyección muy valiosa en el ámbito de las aplicaciones prácticas, pues los problemas a resolver comúnmente suponen la interacción de diversas variables. El AMC permite la integración y búsqueda de interrelaciones para la toma de decisiones acertadas (García-Abad 2002).

Los hornos ladrilleros típicos a cielo abierto son contruidos de forma artesanal, consumen grandes cantidades de combustibles como leña, aceite automotriz reciclado, carbón, combustóleo, diesel, llantas usadas, basura y plásticos. La combustión ineficiente de estos hornos favorece la emisión de partículas sólidas totales (PST) y gases de invernadero, entre los que se encuentran los óxidos de nitrógeno, de azufre y de carbono. González *et al.* (1998), en España, reportaron además la presencia de flúor, cloro y bromo en las emisiones de hornos ladrilleros a cielo abierto. Bruce *et al.* (2007) reportaron la presencia de compuestos orgánicos policlorados cancerígenos por la quema de algunos de los combustibles mencionados anteriormente.

La industria del ladrillo es una actividad asociada a los sectores más pobres de la comunidad. En lo particular, en Ciudad Juárez, Chihuahua, esta actividad se ha incrementado drásticamente desde la década de los sesenta a la par del crecimiento urbano. Actualmente existen 312 hornos distribuidos en distintos sectores dentro del área urbana, que constituyen un riesgo ambiental y de salud (Bruce *et al.* 2007). El tiempo de quemado promedio de diez mil ladrillos en un horno convencional abierto es de 12 horas, a una temperatura aproximada de 600 °C. Este proceso genera alrededor de 86 kg de PST por quema. En el municipio de Juárez, un horno a cielo abierto opera en promedio 36 veces al año.

La Agencia para la Protección Ambiental (EPA) de Estados Unidos ha establecido estándares nacionales para la calidad del aire ambiental (NAAQS, por sus siglas en inglés) para proteger a la población de la exposición a grandes cantidades de contaminantes. Los contaminantes criterio son ozono, plomo, monóxido de carbono, dióxido de azufre, dióxido de

nitrógeno y material particulado respirable. Cuando los niveles de alguno de estos contaminantes exceden los límites máximos permisibles, el área se clasifica como en incumplimiento. Si esto sucede, la EPA aplica ciertas regulaciones federales en las emisiones de contaminantes y designa un periodo para que el área cumpla con el estándar.

En términos de contaminación atmosférica, la Región Paso del Norte –la cual incluye el municipio de Juárez, México, El Paso, Texas, y Sunland Park, Nuevo México– actualmente está en cumplimiento con los límites máximos permisibles en la concentración de todos los contaminantes mencionados (USEPA 2008). Sin embargo, la operación intermitente de la industria ladrillera a lo largo del año genera altos niveles de contaminación durante el proceso de cocción, provocando excedencia en los límites permisibles. Como resultado, el Comité Consultivo Conjunto de la Calidad del Aire de la Región Paso del Norte la considera como zona crítica.

Los hornos ladrilleros en Ciudad Juárez se encuentran inmersos en la zona urbana, lo que representa un importante impacto negativo a sus habitantes. Aunado a esto, el impacto visual –debido a la infraestructura y operación– disminuye la plusvalía de la zona, creando una imagen de inseguridad y pobreza.

Las normas mexicanas NOM-043-SEMAR-NAT-1993 y NOM-085-ECOL-1994 (SEMARNAT 1993, 1994) regulan las emisiones provenientes de fuentes fijas, las cuales pueden ser aplicables a las generadas por la industria ladrillera. No obstante la importancia socioeconómica de esta industria, no existen regulaciones federales para la planeación y control de la operación de los hornos, a pesar de que contribuyen al detrimento del ambiente, principalmente del aire. Sin embargo, a nivel estatal, la Ley Ecológica para el Estado de Guanajuato, en sus artículos 30 y 31, hace referencia a las actividades y servicios que originen emisiones que puedan producir daños al ambiente y a la salud y bienestar de la población, por lo que es de observancia obligatoria cumplir con los límites y procedimientos que se fijen en las normas técnicas ecológicas estatales. La Norma Técnica NTE-IEG-001/98 establece las condiciones que deben reunir los sitios destinados a la instalación y reubicación de hornos ladrilleros y las condiciones para su operación (INECOL 1998). Localmente, el Municipio de Juárez no cuenta con una legislación para esta actividad productiva.

Los factores considerados para la obtención del instrumento técnico utilizado en el presente análisis fueron determinados mediante revisión bibliográfica de problemáticas similares y tomando como refe-

rencia la NTE-IEG-001/98. Entre estos factores se encuentran la ubicación de los hornos con respecto a las zonas urbanas, protegidas, de preservación ecológica, además de vientos dominantes, vías de comunicación, aeropuerto, infraestructura de acceso a la ciudad, cuerpos de agua, zonas propensas a fallas, escurrimientos e inundaciones, estaciones de servicios y almacenamientos de hidrocarburos. Asimismo fueron incluidos factores propuestos por Codes *et al.* (2002) aplicados a la industria ladrillera en Argentina. En dicho trabajo se presentó una matriz confeccionada para valorar la acogida de los factores de producción naturales y antrópicos, como agua, suelo, madera-leña, accesibilidad, mano de obra, mercado y valor agregado frente a las ladrilleras.

El objetivo de este estudio fue determinar áreas geográficas ideales para la reubicación de la industria ladrillera en el municipio de Juárez, considerando el nivel de riesgo ambiental asociado a la construcción y operación de los hornos mediante la técnica de AMC con base en cartografía digital. Para ello se desarrolló un instrumento que establece lineamientos técnicos cuyo propósito es minimizar los riesgos hacia la salud de los pobladores, los impactos negativos al medio natural y que optimicen los aspectos socioeconómicos. Los resultados podrían fortalecer la toma de decisiones de las autoridades en acciones preventivas y de control en la actividad económica de la industria ladrillera. Las decisiones deben ser congruentes con programas de desarrollo urbano municipal para justificar la construcción de nuevos centros ladrilleros, así como la reubicación de hornos existentes inmersos en zonas de riesgo.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la **figura 1** se delimita el área sujeta al estudio de cartografía digital con respecto al riesgo que representa la industria ladrillera hacia la población y el ambiente. El área a evaluar comprende el municipio de Juárez, Chihuahua; posee una extensión territorial de 4853 km² y está ubicada en la zona UTM 13 entre los valores *Y* de 3513000 a 3475000 y los *X* de 335000 a 380000. Los límites Norte y Este del área de estudio colindan con Estados Unidos de Norteamérica. El área de estudio incluye tanto la zona urbana del municipio como zonas con características importantes para la región en términos turísticos, ecológicos y económicos, como la Sierra Juárez, la zona de dunas y la región agrícola del Valle de Juárez.

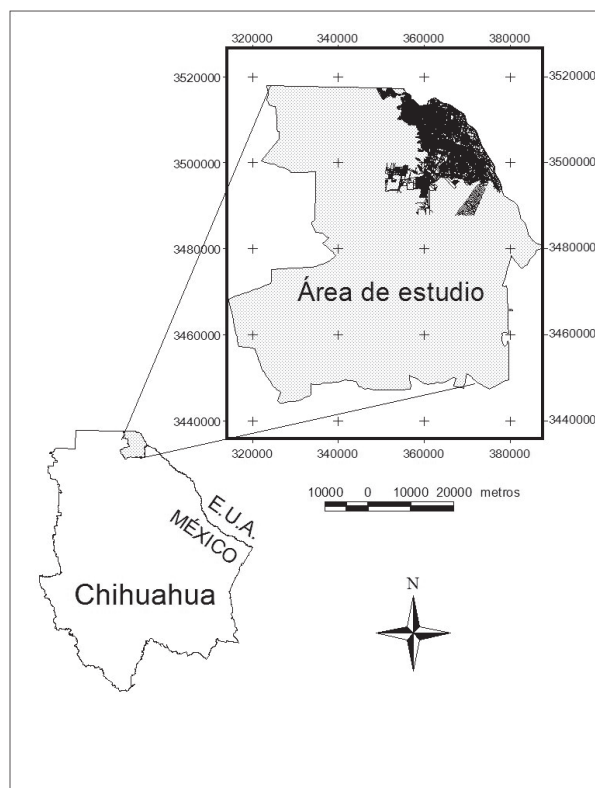


Fig. 1. Localización geográfica del área de estudio de la industria ladrillera en el municipio de Juárez

Determinar el mejor sitio para el desarrollo industrial involucra un arreglo complejo de factores en diversas disciplinas como las económicas, sociales, tecnológicas y ambientales (Jun 2000). Los factores considerados en este análisis fueron determinados mediante revisión bibliográfica y consulta con especialistas en el área ambiental. Los integrantes del grupo de trabajo son especialistas en diversas áreas ambientales como biota, agua, suelo, aire y energía. Los factores seleccionados están categorizados en el **cuadro I** mediante una lista de control que incluye aspectos biofísicos, sociales y económicos.

La característica primordial para la inclusión de los factores fue que pudieran ser representados espacialmente para así generar la cartografía. La información correspondiente al municipio de Juárez referente a Censo de Población y Vivienda, Censo de Centros Ladrilleros Municipales 2005, edafología, geología, hidrología, vegetación y unidades del paisaje, fue recabada de las bases de datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI 2000), del Instituto Municipal de Investigación y Planeación (IMIP), del Centro de Información Geográfica de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (CIG-UACJ) y de la Comisión Nacional para la Biodiversidad (CONA-

CUADRO I. LISTA DE CONTROL DE FACTORES RELACIONADOS CON LA INDUSTRIA LADRILLERA Y PONDERACIÓN POR CATEGORÍA (W_C), POR FACTOR (W_F) Y NORMALIZADA (N)

Categoría	Subcategoría	Factor	W_C	W_F	$W_C W_F$	N
Ambiental	Biológico	Especies vulnerables	0.52	0.180	0.0936	9.36
		Zonas ecológicas		0.200	0.104	10.40
	Físico	Hidrología subterránea		0.140	0.0728	7.28
		Hidrología superficial		0.150	0.078	7.80
		Elevación		0.130	0.0676	6.76
		Edafología		0.200	0.104	10.40
Económica	Construcción	Pendiente	0.22	0.220	0.0484	4.84
		Geología		0.190	0.0418	4.18
		Uso de suelo		0.360	0.0792	7.92
		Camino		0.230	0.0506	5.06
Social	Población	Habitantes	0.26	0.270	0.0702	7.02
		Vivienda		0.270	0.0702	7.02
	Elementos sensibles	Almacenes de combustible		0.115	0.0299	2.99
		Aeropuerto		0.115	0.0299	2.99
		Límite fronterizo		0.115	0.0299	2.99
		Líneas de transmisión		0.115	0.0299	2.99

BIO). La **figura 2** muestra la ubicación de los hornos ladrilleros que operan actualmente en la zona urbana de Ciudad Juárez. Los datos fueron procesados en el Sistema de Información Geográfica ArcView 3.2®.

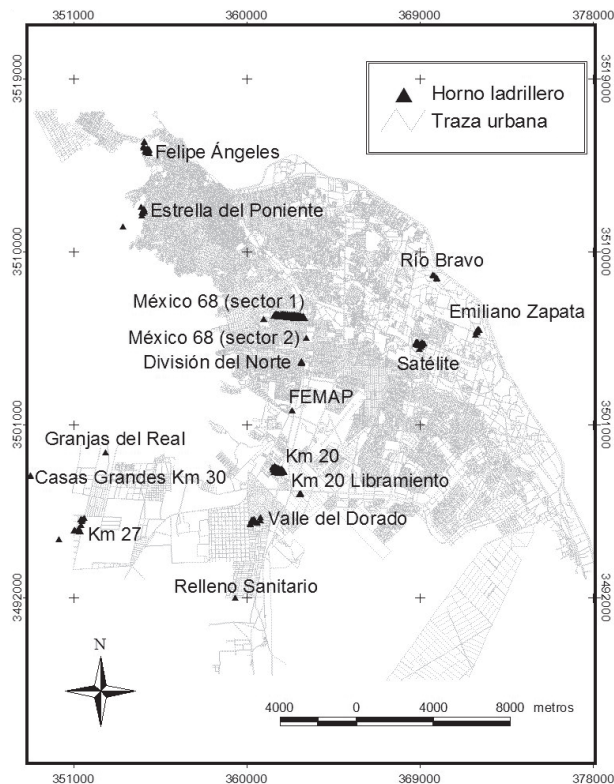


Fig. 2. Ubicación de las zonas ladrilleras que operan en Ciudad Juárez, Chihuahua, México

Para estimar el efecto de los factores seleccionados en cada categoría, se definió una escala estimativa de riesgo mediante un análisis jerárquico multicriterio y la técnica Delphi modificada (ESRI 1991). La escala comprendió nueve dígitos donde el número uno representó el mayor riesgo y el nueve el menor. Primero se realizó la ponderación por categoría W_C , seguida por la asignación de peso a la importancia de los factores W_F dentro de cada categoría. Con los valores de W_C y W_F se obtuvieron los valores normalizados N de cada factor en relación a los otros factores, lo cual se traduce en el nivel de riesgo.

Los diecisiete factores ponderados listados en el **cuadro I** fueron cartografiados digitalmente en el SIG con la extensión Spatial Analysis®. Se generaron corredores de distancias en mapas con los datos ponderados normalizados, N . Mediante el uso de álgebra de mapas se obtuvieron polígonos con diferente grado de vulnerabilidad o riesgo hacia la población y el ecosistema. Con este mapa de vulnerabilidad se evaluó el grado de impacto de las ladrilleras.

RESULTADOS

Los mapas de riesgo mostrados en las **figuras 3, 4 y 5** presentan la vulnerabilidad del área bajo estudio, obtenidos de la ponderación multifactorial digital para las categorías ambiental, social y económica, respectivamente. Al considerar sólo los factores dentro de la categoría ambiental representados en la **figura 3**, es posible discernir tres grandes zonas

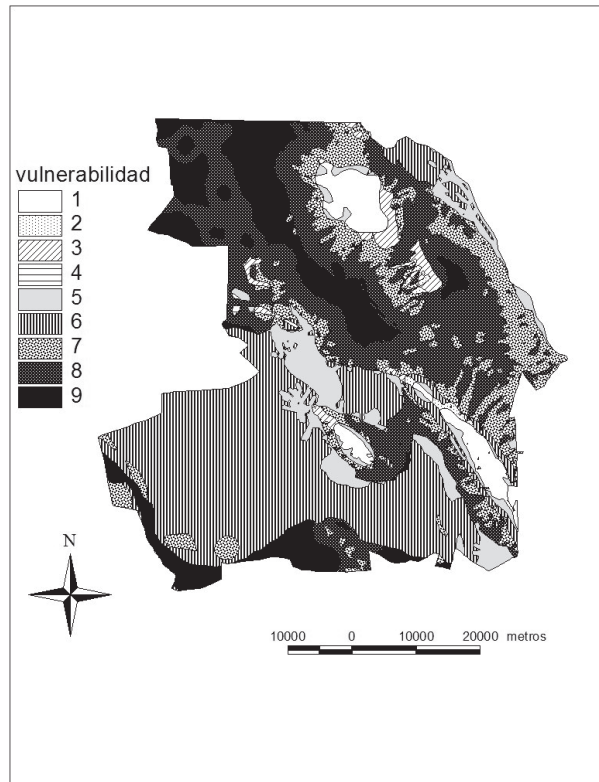


Fig. 3. Mapa de vulnerabilidad en la categoría de factores ambientales considerando como críticos zonas ecológicas y edafología

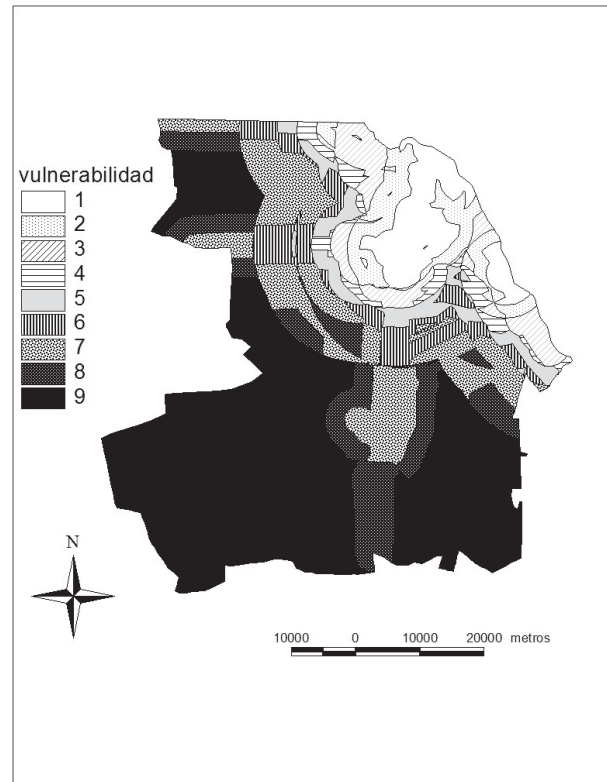


Fig. 4. Mapa de vulnerabilidad en la categoría de factores sociales considerando como críticos densidad de población y vivienda

de alta susceptibilidad: la Sierra Juárez, la zona del Barreal y la región de las dunas. Las zonas más vulnerables resultantes de la combinación de los factores sociales se encontraron dispersas en toda la zona poblada de la ciudad como lo muestra la **figura 4**. El mapa de la **figura 5**, donde se representan los factores económicos, denota claramente que la zona de mayor vulnerabilidad es la región ocupada por el área urbana, seguida por la perteneciente a la Sierra Juárez. En este estudio, los factores ambientales, sociales y económicos de mayor impacto en la determinación de la vulnerabilidad hacia la operación de la industria ladrillera resultaron ser zonas ecológicas, edafología, uso de suelo, densidad de población y vivienda (**Cuadro I**).

La **figura 6** es el resultado de la superposición de los mapas de las categorías ambiental, social y económica, y muestra los polígonos clasificados de mayor a menor vulnerabilidad. En general, la zona urbana, la ladera Este de la Sierra Juárez, la zona de dunas y la región agrícola del Valle de Juárez cercana a la ciudad, resultaron ser áreas de alta vulnerabilidad para la operación de la industria ladrillera.

Del total del área evaluada, 30 % del territorio (aproximadamente 1455 km²) se encuentra por debajo del nivel 6 de vulnerabilidad. Usando la herramienta de selección de mapas fue posible agrupar información de zonas con diferentes niveles de riesgo. El mapa de la **figura 7** representa el área con un nivel de riesgo bajo, cuya escala de vulnerabilidad se encuentra entre el 6 y el 9; en ésta prácticamente desaparece la porción de la zona urbana. Además, este mapa incluye la ubicación actual de los hornos ladrilleros.

El **cuadro II** especifica el resultado de la evaluación de los 312 hornos ladrilleros que operan actualmente en la ciudad. Para las dieciséis zonas ladrilleras se presenta el número de hornos totales y su distribución de acuerdo a los niveles de riesgo obtenidos. Sectores ladrilleros importantes como el México 68, Satélite y el Km 20, los cuales en conjunto agrupan más de 70 % de los hornos, se encuentran localizados en áreas que resultaron con valores por debajo de cinco, representando alto riesgo para la población. El **cuadro III** resume el porcentaje acumulado de hornos por niveles de riesgo; 90.3 % de los hornos resultaron estar ubicados en áreas de mediano a alto nivel de riesgo.

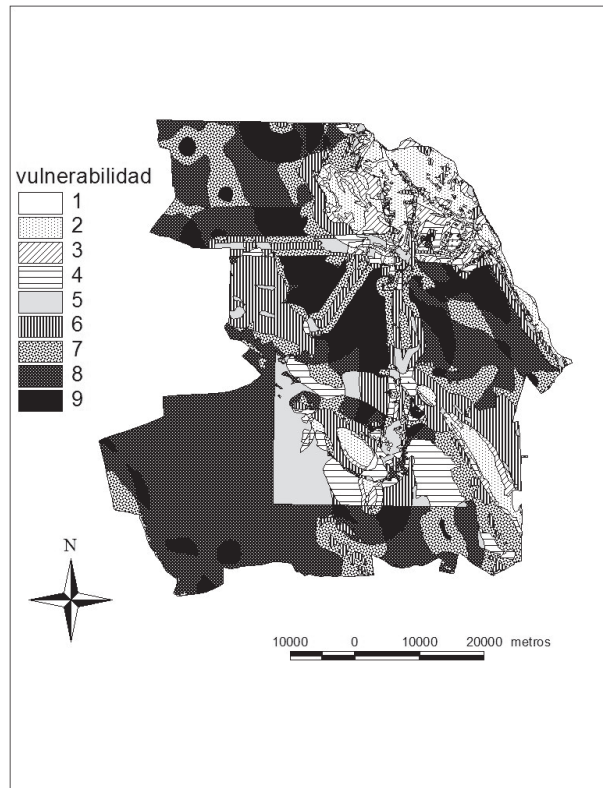


Fig. 5. Mapa de vulnerabilidad en la categoría de factores económicos considerando como crítico el uso de suelo

DISCUSIÓN

El crecimiento no planificado en las grandes ciudades ha provocado que la asignación del uso de suelo de diversas actividades económicas resulte conflictiva con el tiempo. Los responsables de la planificación, gobernantes y ejecutores, requieren de bases de datos y mapas ambientales para llevar a cabo proyectos de ordenamiento territorial que tiendan a minimizar estos conflictos.

La herramienta del SIG aunada al AMC permite predecir el impacto provocado por la industria ladrillera hacia su entorno asociado a diversos factores. En este estudio se valoraron y ponderaron factores en las categorías ambiental, económica y social. El consenso de las aportaciones individuales de los integrantes del grupo de trabajo resultó en una mayor ponderación hacia los factores de la categoría ambiental como se denota en el **cuadro I**. Se asumió que la industria ladrillera provoca el doble de afectación sobre los medios físicos y biológicos comparada con aquella hacia la situación social y económica del entorno.

En el caso de los factores sociales, el impacto se consideró de acuerdo a los corredores generados sobre elementos sensibles. Entre dichos elementos se

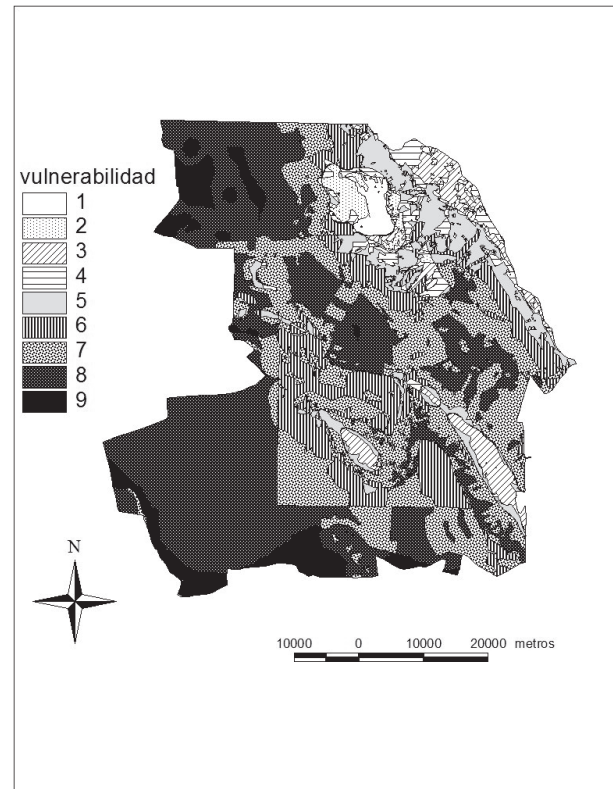


Fig. 6. Mapa resultante del análisis cartográfico de riesgo asociado a la industria ladrillera en el municipio de Juárez, Chihuahua

encuentran la distancia a tanques de almacenamiento de combustibles, líneas de transmisión, límite fronterizo y densidad de población.

Los límites fronterizos representan un obstáculo físico para la reubicación o implementación de la industria ladrillera. Además, la operación de los hornos ladrilleros repercute en la imagen que México proyecta hacia las personas que transitan cerca de la línea fronteriza. Por otro lado, el carácter fronterizo de las ciudades no sólo influye en los aspectos sociales, sino también en los ambientales. Se deben cumplir normativas ambientales internacionales. En este caso particular, los recursos naturales compartidos entre Ciudad Juárez y El Paso Texas corresponden al aire y los mantos acuíferos, por lo que un criterio aislado pero lógico correspondería a que la industria ladrillera debería ubicarse lo más alejada posible del límite para no afectar drásticamente los recursos compartidos.

El crecimiento acelerado de Ciudad Juárez en las últimas décadas propició que las zonas ladrilleras que inicialmente se encontraban en las periferias de la ciudad, eventualmente quedaran inmersas en la mancha urbana. Actualmente, la población de Ciudad

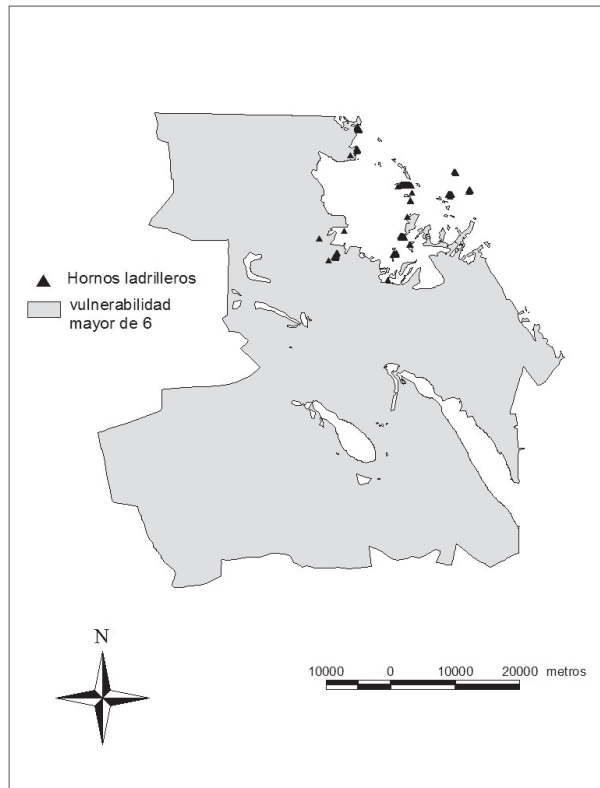


Fig. 7. Ubicación de los hornos ladrilleros contrastando el nivel de vulnerabilidad a partir del valor de riesgo 6

Juárez es de alrededor de 1.3 millones de habitantes (INEGI 2005) con alta densidad de población; esto potencializa problemas sociales, económicos y ambientales. En el presente estudio se demostró que la zona urbana del municipio está declarada como no apta para la operación de esta industria.

En relación a los factores económicos se deben considerar la ubicación de las fuentes de abasto de materia prima y los costos de transporte de los materiales así como de los productos. El factor económico de accesibilidad vial fue contemplado en el estudio para incluir dichos aspectos, ya que repercuten fuertemente en la comercialización del ladrillo. Para los productores que tienen como única fuente de ingresos el ladrillo o tabique, los costos de transporte deben ser congruentes para que compitan en el mercado con otras industrias proveedoras de materiales alternos para la construcción. Las necesidades para la comercialización del producto son incompatibles con los aspectos de protección a la comunidad y el ambiente.

Este estudio es una primera aproximación a un problema de naturaleza compleja por el impacto social que conlleva. Sin duda alguna, el mayor impacto negativo de la industria ladrillera ocurre durante la cocción del material ya que la combustión ineficien-

CUADRO II. DISTRIBUCIÓN DE HORNOS LADRILLEROS DE ACUERDO A LOS POLÍGONOS DE RIESGO RESULTANTES EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA, MÉXICO

Nombre	Total de hornos	Nivel de riesgo	Hornos por nivel de riesgo
Casas Grandes km 30	2	8	2
División del Norte	6	4	6
Emiliano Zapata	10	4	10
Estrella del Poniente	12	5	7
		6	4
		7	1
FEMAP	2	4	2
Felipe Ángeles	19	3	17
		4	2
Granjas del Real	1	6	1
Km 20	37	2	1
		4	36
Km 20 Ignacio Ramos	27	4	20
		5	7
Km 20 Libramiento	4	6	4
Km 27	14	8	12
		9	2
México 68	119	4	35
		5	84
Relleno Sanitario	1	7	1
Río Bravo	6	3	1
		4	5
Satélite	40	3	40
Valle Dorado	12	7	12

te genera altas emisiones de gases contaminantes. Una medida de mitigación durante la operación sería reemplazar los hornos convencionales a cielo abierto por hornos ecológicos MK (Bruce *et al.* 2007). La remediación al problema actual consiste en combinar estrategias políticas con los resultados obtenidos de las matrices de impacto ambiental para la reubicación de los hornos existentes hacia un área concentradora de la industria. El área debe ser planeada de tal manera que

CUADRO III. REPRESENTACIÓN EN PORCENTAJE DEL TOTAL DE HORNOS LADRILLEROS POR NIVELES DE RIESGO

Niveles de riesgo	Hornos	% Acumulado
1	0	0
2	1	0.3
3	58	18.8
4	116	56.0
5	98	87.4
6	9	90.3
7	14	94.8
8	14	99.3
9	2	100

con el tiempo no se vuelva a incurrir en los mismos problemas. Los ejecutores del proceso de reubicación deben considerar no afectar económicamente a los productores, ya que esto crea conflictos al grado que los productores pueden desde entorpecer hasta evitar el proceso de la reubicación.

CONCLUSIÓN

La cartografía de riesgo y los mapas ambientales resultantes de la combinación del SIG y el AMC son herramientas valiosas para dar solución al problema de la industria ladrillera en el municipio de Juárez. Sus ventajas radicarón en el ahorro de tiempo de exploración a través de la lectura geográfica digital de las variables incluidas en el estudio para evaluar en un mismo momento la totalidad del territorio. Los polígonos de menor vulnerabilidad, que en este caso están representados por los niveles 7, 8 y 9, son la mejor opción para reubicar los hornos bajo los conceptos de protección de la salud humana, preservación de recursos naturales y optimización de aspectos económicos. Para este estudio, los factores ambientales críticos fueron zonas ecológicas y edafología; los sociales fueron densidad de población y vivienda y en relación a los económicos el de mayor impacto fue uso de suelo.

Si bien cerca de 71 % de la superficie evaluable quedo incluida como de baja vulnerabilidad, es necesario llevar a cabo un estudio más detallado que permita localizar sitios apropiados para el establecimiento de parques ladrilleros o alguna otra industria de riesgo similar dentro del plan de ordenamiento territorial municipal.

La vulnerabilidad del entorno referente a la industria ladrillera se relaciona fuertemente con la distancia hacia la ubicación de los hornos. 70 % de los hornos ladrilleros se encuentran en la zona urbana, situación que favorece los aspectos económicos de la mayoría de los productores; sin embargo, crea conflicto con los sociales y ambientales. Considerando la ubicación actual de las ladrilleras y sus emisiones constantes a la atmósfera, prácticamente toda la zona urbana queda excluida para la explotación de esta industria por representar un potencial riesgo a la salud.

Si bien el estudio presenta una metodología con criterios técnicos sólidos para seleccionar áreas de baja vulnerabilidad para la reubicación de ladrilleras, se requiere legislar de manera pertinente la operación de esta industria, de tal manera que se regule el tipo de hornos permitidos, tipo de combustible autorizado,

fechas y horarios de operación y producción máxima permitida, al mismo tiempo que se establezca, por parte de la autoridad competente, una inspección frecuente de monitoreo de las emisiones y periodicidad de revisiones médicas a los trabajadores, entre otras acciones.

REFERENCIAS

- Aguirre-Murua G. (2005). La valorización de los riesgos en la ordenación del territorio: metodología práctica. *Boletín A.G.E.* 40, 393-405.
- Ayala-Carcedo F. J. (2000). La ordenación del territorio en la prevención de catástrofes naturales y tecnológicas. Bases para un procedimiento técnico-administrativo de evaluación de riesgos para la población. *Boletín A.G.E.* 30, 37-49.
- Bosque-Sendra J., Díaz-Castillo C., Díaz-Muñoz M.A., Gómez-Delgado M., González-Ferreiro D., Rodríguez-Espinosa V.M. y Salado-García M.J. (2004). Propuesta metodológica para caracterizar las áreas expuestas a riesgos tecnológicos mediante SIG. Aplicación en la comunidad de Madrid. *GeoFocus* 4, 44-78.
- Bosque-Sendra J., Ortega-Sisquez A. y Rodríguez-Espinosa V.M. (2005). Cartografía de riesgos naturales en América Central con datos obtenidos desde Internet. *Doc. Anal. Geogr.* 45, 41-70.
- Bruce C.W., Corral A.Y. y Lara A.S. (2007). Development of cleaner burning brick kilns in Ciudad Juárez, Chihuahua, México. *J. Air & Waste Manage. Assoc.* 57, 444-456.
- Ciminari M., Torrens C. y Jurio E. (2003). Los sistemas de información geográfica: una herramienta eficaz para el análisis ambiental. *Memorias. Primer Congreso de la Ciencia Cartográfica y VIII Semana Nacional de Cartografía.* Buenos Aires, Argentina. 25 al 27 de junio, 2003. pp 1-11.
- Codes M.I., Robledo S.B., Moira A. y Maffei A. (2002). Impacto ambiental de las ladrilleras en el Algarrobal, Departamento de las Heras, Mendoza, Argentina. [en línea] http://ffyl.uncu.edu.ar/IMG/pdf/Impacto_de_las_ladrilleras_El_Algarrobal.pdf 13/06/08.
- Corral-Avitia A.Y., De la Mora-Covarrubias A. y Carrasco-Urrutia K.A. (2009). Impacto ambiental de las ladrilleras en Ciudad Juárez. En *Lazos Verdes: primer encuentro académico en pro del medio ambiente.* Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Cd. Juárez, Chih., México. 1, 299 pp.
- Díaz-Muñoz M.A. y Díaz-Castillo C. (2002). El análisis de la vulnerabilidad en la cartografía de riesgos tecnológicos. Algunas cuestiones conceptuales y metodológicas. *Serie Geográfica* 10, 27-41.

- ESRI (1991). *Working with the Arcview Spatial Analyst*. Enviromental Systems Research Institute. Redlands, CA. 264 pp.
- Gallardo A., Bovea M.D. y Bordás R. (2005). LIGRE: una herramienta para la generación de mapas de orientación a la ubicación de instalaciones de gestión de residuos. Aplicación al emplazamiento de vertederos en la provincia de Castellón. *Residuos* 83, 2-9.
- García-Abad J.J. (2002). Cartografía ambiental. Desarrollo y propuestas de sistematización. *Observatorio Medio-ambiental* 5, 47-78.
- González I., Galán E. y Fabbri Y.B. (1998). Problemática de las emisiones de fluor, cloro y azufre durante la cocción de materiales de la industria ladrillera. *Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidr.* 37, 307-313.
- INECOL (1998). Norma Técnica Ecológica NTE-IEG-001/98, Que establece las condiciones que deben reunir los sitios destinados a la instalación y reubicación de hornos ladrilleros en el estado y las condiciones para su operación y para la elaboración y cocido de piezas hechas con arcillas para la construcción. *Periódico Oficial del Gobierno del Estado de Guanajuato*. 5 de mayo de 1998.
- Jun C. (2000). Design of an Intelligent Geographic Information System for Multi-criteria Site Analysis. *URISA Journal* 12(3), 5-17.
- Malczewsky J. (1999). *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. John Wiley & Sons, Nueva York, 392 pp.
- Mena F.C., Gajardo V.J. y Ormazabal R.Y. (2006). Modelación espacial mediante geomática y evaluación multicriterio para la ordenación territorial. *Rev. Fac. Ing.* 14, 81-89.
- Peluso F., Usunoff E. y Entraigas I. (2003). Integración de parámetros socioeconómicos en estudios espaciales de riesgo sanitario mediante el uso de herramientas multicriterio. *GeoFocus* 3, 186-198.
- Romo-Aguilar M.L., Córdova-Bojorquez G. y Cervera-Gómez L.E. (2004). Estudio urbano-ambiental de las ladrilleras del municipio de Juárez. *Estudios Fronterizos* 5(9), 9-34.
- SEMARNAT (1993). Norma Oficial Mexicana NOM-043-SEMARNAT-1993. Que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas sólidas provenientes de fuentes fijas. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. *Diario Oficial de la Federación*. 22 de octubre de 1993.
- SEMARNAT (1994). Norma Oficial Mexicana NOM-085-ECOL-1994. Contaminación atmosférica, fuentes fijas. Para fuentes fijas que utilizan combustibles fósiles sólidos, líquidos o gaseosos o cualquiera de sus combinaciones, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de humos, partículas suspendidas totales, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno y los requisitos y condiciones para la operación de los equipos de calentamiento indirecto por combustión, así como los niveles máximos permisibles de emisión de bióxido de azufre en los equipos de calentamiento directo por combustión. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. *Diario Oficial de la Federación*. 2 de diciembre de 1994.
- Silva J.T., Estrada F., Ochoa S. y Cruz G. (2006). Propuesta metodológica para la ubicación de áreas de disposición de residuos sólidos urbanos. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 22, 147-156.
- Tudela-Serrano M.L., Molina-Ruiz J. y Albaladejo M.V. (2000). Metodología práctica de aplicación de un proyecto SIG en el término municipal de Cehegín (Murcia). *Papeles de Geografía* 3, 155-167.
- USEPA (1990). National Ambient Air Quality Standards. United States Environmental Protection Agency. <http://epa.gov/air/criteria.html> 11/12/08.
- Vatalis K. y Manoliadis O. (2002). A two-level multicriteria DSS for landfill site selection using GIS: case study in western Macedonia, Greece. *J. Geo. Inf. Deci. Anal.* 6, 49-56.