

Evaluación multicriterio de la exposición al riesgo ambiental mediante un sistema de información geográfica en Argentina

Diana De Pietri,¹ Patricia Dietrich,² Patricia Mayo²
y Alejandro Carcagno²

Forma de citar

De Pietri D, Dietrich P, Mayo P, Carcagno A. Evaluación multicriterio de la exposición al riesgo ambiental mediante un sistema de información geográfica en Argentina. Rev Panam Salud Publica. 2011;30(4):377-87.

RESUMEN

Objetivo. Elaborar un modelo espacial que integre los factores ambientales que constituyen una amenaza para la salud, de aplicación en la cuenca del río Matanza-Riachuelo (CMR).

Métodos. Se implementaron procedimientos de evaluación multicriterio en el entorno de los sistemas de información geográfica para obtener una zonificación del territorio basada en grados de aptitud para residir. Se georreferenciaron variables que caracterizan las condiciones de habitabilidad de las viviendas y las posibles fuentes de contaminación de la cuenca. Se extrajo información de salud de la Encuesta de Factores de Riesgo (EFARS) para medir el riesgo relativo de vivir en zonas no aptas (población expuesta) en relación con las zonas aptas (población no expuesta).

Resultados. La CMR presenta 60% de su superficie en condición de aptitud, situación que afecta a 40% de la población residente. El resto de la población habita en un territorio no apto, y 6% se encuentra en la condición más desfavorable de la cuenca. Las condiciones ambientales adversas para la salud presentes en las zonas no aptas se hicieron manifiestas en el estado de salud de los entrevistados a través de tres de las patologías contempladas: diarreas, enfermedades respiratorias y cáncer.

Conclusiones. Se obtuvo un diagnóstico regional válido como información de apoyo en la toma de decisiones. La consideración de la cuenca como una unidad de análisis permitió establecer un único protocolo para medir la magnitud del riesgo en forma integral y, de esta manera, establecer prioridades.

Palabras clave

Exposición a riesgos ambientales; grupos vulnerables; salud ambiental; cuencas hidrográficas; sistemas de información geográfica; Argentina.

El ambiente influye sobre diversos aspectos del bienestar de la población, y algunos riesgos para la salud son inicia-

dos, preservados o exacerbados por factores ambientales (1). Más aun, los estilos de desarrollo actuales modifican la forma en que el ambiente influye sobre la salud, cambiando los modelos de riesgo (2-4). Establecer un vínculo causal entre ciertos factores medioambientales y los efectos perjudiciales para la salud plantea muchas dificultades. Entre ellas se citan la lentitud de acumulación de

evidencias para establecer el riesgo de la población expuesta; la variabilidad en la exposición individual, que puede expresarse con diversos trastornos de salud; y el hecho de que los síntomas específicos pueden corresponder a exposiciones diferentes (5). No obstante, existen muchas investigaciones, evidencias e información científica disponibles para guiar la toma de decisiones (6).

¹ Dirección de Determinantes de la Salud, Ministerio de Salud de la Nación, Buenos Aires, Argentina. La correspondencia se debe enviar a Diana De Pietri, depietrid@hotmail.com

² Centro de Información Metropolitana, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.

La evaluación del impacto medioambiental sobre la salud requiere del desarrollo de un sistema que integre información sobre el estado del medio ambiente, el ecosistema y la población a nivel comunitario (7). En la bibliografía existen antecedentes del uso de sistemas de información geográfica para representar espacialmente las amenazas ambientales (8–10). Dentro de este contexto, estos sistemas representan la herramienta para combinar información elaborada según el concepto de impacto/aptitud de los modelos de capacidad de carga del territorio. Estos están dirigidos a valorar el potencial y las restricciones naturales para el desarrollo de una actividad o uso del suelo en un territorio (11).

El propósito de este trabajo fue elaborar un modelo espacial que integre los factores ambientales que constituyen una amenaza para la salud, de aplicación en la cuenca del río Matanza-Riachuelo (CMR). Su desarrollo está enmarcado en el análisis de riesgo (12) y en los procedimientos de evaluación multicriterio integrados a los sistemas de información geográfica (13–16). Los objetivos específicos fueron 1) definir la aptitud de áreas urbanas de la cuenca con base en la información disponible para caracterizar las condiciones de habitabilidad y la amenaza ambiental del territorio, 2) localizar sitios que cumplan con los criterios de elegibilidad y 3) validar la estratificación del territorio con información de salud.

Área de estudio

La cuenca Matanza-Riachuelo es una de las más importantes de la región metropolitana de Buenos Aires, Argentina. Está integrada por 14 partidos metropolitanos y la zona sur de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Tiene una superficie de 2 240 km², un ancho promedio de 35 km y una longitud promedio de 75 km. Se caracteriza por ser una zona baja con establecimiento de industrias que han contaminado y modificado el entorno, y existencia de viviendas precarias en zonas inundables desde la época colonial. Actualmente concentra áreas con los mayores niveles de desempleo y pobreza de la Argentina.

En el 2008 la población radicada en la CMR era de 3,5 millones de habitantes. De este total solo 40% posee servicios cloacales y 65% agua potable. Entre los factores determinantes de la contamina-

ción ambiental se incluyen los pozos negros en terrenos inundables (17), los establecimientos industriales en sectores con alta densidad poblacional y la proliferación de asentamientos irregulares y basurales, utilizados como recurso para la subsistencia (18, 19). Se contabilizaron 137 asentamientos irregulares con condiciones sanitarias y de habitabilidad deficientes, varios ubicados en las llanuras de inundación de los ríos de la cuenca (20).

MATERIALES Y MÉTODOS

Es un estudio de tipo ecológico. El desarrollo metodológico del modelo espacial que integra los factores ambientales que constituyen una amenaza para la salud consistió en definir criterios/indicadores y variables significativas para medir la capacidad del territorio con relación a determinadas condiciones de habitabilidad y a la amenaza ambiental. El trabajo se centró en el planteamiento de un método parametrizable para estimar el grado de aptitud para residir del territorio. La falta de aptitud del territorio dio cuenta de los sitios donde la población puede estar en riesgo ambiental. El estudio se realizó en las áreas urbanas de la CMR.

La localización de sitios con aptitud para residir se basa en delimitar áreas que cumplan con el siguiente atributo de elegibilidad: "territorio no inundable con disponibilidad de agua potable, luz y gas natural, eliminación de efluentes domiciliarios a través del sistema cloacal y recolección diaria de residuos, alejados de industrias, estaciones de servicio, basurales y cementerios". Este atributo de elegibilidad se basa en 9 criterios/indicadores de "exposición" y 1 criterio/indicador de "restricción."

Definir a un sitio como apto para residir implica analizarlo a través de un conjunto de variables que no presentan un valor preciso de cuándo son caracterizadas como aptas o no aptas. La determinación de la aptitud del territorio está basada en términos relativos de percepciones subjetivas, que pueden ser probables, pero no exactas. Por ello, la teoría de los conjuntos borrosos o difusos (*fuzzy set theory*) es más idónea que la lógica booleana (clásica) para representar y analizar este fenómeno (21).

La teoría de los conjuntos difusos desarrollada por Zadeh (22) es particularmente útil para procesar datos e infor-

mación cuyos atributos tienen zonas de transición gradual. La lógica difusa se enfoca en modelar las imprecisiones de los límites de clases y no considera si un elemento está dentro de una clase o no, sino que define la posibilidad de que el fenómeno pertenezca al conjunto o clase (23).

La planificación del uso del territorio debe incorporar información objetiva y subjetiva en un sistema informatizado para ayudar a las políticas públicas a alcanzar un alto grado de efectividad en la toma de decisiones. La información objetiva se deriva de estimaciones e investigaciones sistemáticas, y la subjetiva representa las opiniones (preferencias, prioridades y juicios) de los grupos de interés y los centros de decisión.

La metodología utilizada para medir el grado de aptitud del territorio fue la evaluación multicriterio en el entorno de los sistemas de información geográfica (13, 24–27). La evaluación multicriterio se define como el conjunto de operaciones para la adopción de decisiones, considerando simultáneamente varios criterios o condicionantes. El método propuesto facilita el establecimiento de grados de adecuación y la ponderación diferencial de los criterios en la decisión final. La evaluación multicriterio en el entorno de un sistema de información geográfica implica utilizar datos geográficos, las preferencias del decisor y la manipulación de la información de acuerdo con reglas de decisión pautadas precedentemente.

Análisis de los datos

Los sitios destinados al uso residencial deben seguir ciertas pautas de habitabilidad. Estas siempre deben estar relacionadas con la salud y seguridad de la población que alojan y con la necesidad de satisfacer ciertas demandas de equipamiento. Este último, a su vez, debe permitir disfrutar de una calidad de vida que posibilite a los habitantes acceder al trabajo, la educación, la cultura y el esparcimiento. No es posible hablar de una solución única cuando la condición de un sitio depende de múltiples factores, y por esto se han listado una serie de criterios/indicadores que califican al territorio y permiten definir su aptitud para el uso residencial. Para caracterizar estos criterios/indicadores se consideran tanto las condiciones de habitabilidad de las viviendas medidas a través de la infraes-

estructura de servicios (agua, cloaca, electricidad, gas, recolección de residuos), como las amenazas ambientales a las que potencialmente puede estar expuesta la población medidas a través de las fuentes de contaminación más preponderantes en la CMR (industrias, basurales, estaciones de servicio, cementerios). En el cuadro 1 se presentan las bases de datos utilizadas (28–34).

Cada criterio/indicador se analiza a través de una variable que presenta una unidad de medición que necesita unificarse en valores de aptitud para poder establecer comparaciones. El procedimiento para transformar los valores originales en una medida comparable es la adecuación difusa (22). Se trata de diferentes funciones que permiten clasificar una variable según su grado de pertenencia a un conjunto o clase. Cada entidad del mapa (celda o polígono) asume un valor de aptitud desde 0 (adecuación nula) a 1 (óptima) en una escala de números reales. Por ejemplo, si se quiere mapear una zona según la distancia entre las viviendas y un basural, y se decide que a partir de una distancia de 1 000 m una vivienda no resultará afectada por este, cabe preguntarse si las viviendas que están a una distancia de 999 m están cerca o lejos del basural. Mediante esta herramienta se construye un mapa con valores graduales para representar distintos niveles de influencia del basural en cada vivienda. Este enfoque reemplaza al mapa con dos categorías (cerca/lejos). De esta manera, cada variable es transformada y estandarizada en un valor de aptitud que fluctúa entre 0 y 1 (o 100). Las funciones de pertenencia difusa fueron definidas a través de una transformación lineal entre el valor mínimo especificado según la variable (por ej., el valor mínimo de porcentajes de hogares con agua de red), al que le correspondió una membresía de 0, y el valor máximo, al que se le asigna una membresía de 1. Los puntos de inflexión fueron establecidos en un contexto de análisis de riesgo razón por la cual se adopta, en cuanto a lo espacial, la posición más conservadora. En el cuadro 2 se muestran las variables seleccionadas por su riesgo potencial para la salud y sus funciones de pertenencia (35–40).

La adecuación de un sitio estará definida por las diferentes combinaciones de los criterios/indicadores antes mencionados; no obstante, si un sitio es inundable, deja de ser apto.

Jerarquización y agregación de las variables

Tras la preparación de las variables se aplica un sistema de jerarquización basado en considerar que no todas tienen la misma importancia para definir la aptitud de un sitio. Todo proceso de asignación de juicios de valor lleva implícito un elevado porcentaje de subjetividad al asignar valores numéricos a las opiniones de expertos. Debido a esto se utiliza la técnica desarrollada por Saaty (41), que consiste en analizar la importancia relativa para definir la aptitud del territorio de a dos factores por vez. La escala tiene 9 puntos de comparación: extremadamente importante, "9"; muy importante, "7"; importante, "5"; moderadamente importante, "3"; e igual, "1". De esta manera se construye una matriz de doble entrada con los factores en filas y columnas, una diagonal principal con un valor igual a 1 y, en cada celda, el peso relativo de la comparación. Por ejemplo, se considera que la potabilidad del agua es un factor más importante que el uso de gas natural para definir la aptitud del sitio, y por esto al factor "agua" se le asigna el valor "5", y al gas el valor inverso, "1/5".

Para medir la jerarquía entre criterios/indicadores se consideraron más relevantes aquellos que representan situaciones de contaminación. Es decir, las posibles fuentes de contaminación son moderadamente más importantes que el servicio de agua y cloaca de red y extremadamente más importantes que la luz, el gas y la recolección de residuos para definir la aptitud del sitio. La herramienta "ponderación" (*weight*) del programa Idrisi (Clark Labs, EE.UU.) genera una tabla y una medida cuantitativa (razón de consistencia, RC) que informa sobre la arbitrariedad en la asignación de los pesos o ponderación. La RC debe adoptar valores inferiores a 0,1 para que la ponderación sea aceptable.

Las variables georreferenciadas, transformadas, estandarizadas y ponderadas se unen mediante suma lineal ponderada, con la siguiente ecuación:

$$r_i = \sum_{j=1}^n (w_j * e_{ij})$$

donde

r_i es la capacidad del terreno para el uso residencial,

w_j es la ponderación o peso de la variable j ,

e_{ij} es el valor transformado y estandarizado de la variable j , y

n es el número de variables involucradas en el modelo.

Los valores r_i más altos representan los sitios potencialmente adecuados para el uso residencial, en contraposición de los valores más bajos, que indican la no aptitud. El mapa resultante está constituido por la información integrada de las 9 variables, que influyen en forma diferencial según su peso o ponderación. Por ejemplo, aquellos sitios con una o más fuentes de contaminación se van a discriminar por los bajos valores. La delimitación de sectores con diferente grado de aptitud se obtiene al agrupar los valores r_i según el método de "media geométrica" provisto en el programa Arcgis 9.3.1 (ESRI, EE.UU.) (21). El mapa final se obtiene al superponer las zonas inundables.

Estratificación del territorio y medición del riesgo relativo

El mapa final se usa para estratificar el territorio de la CMR en sitios aptos y no aptos para residir. Todos aquellos sitios con valores iguales o superiores al valor de la media geométrica de la CMR se consideran aptos, y viceversa. De esta manera, es posible medir el riesgo relativo de vivir en zonas no aptas (población expuesta a riesgo ambiental) en relación con las zonas aptas (población no expuesta a riesgo ambiental).

La clasificación de la población en "sana" y "enferma" para completar la tabla de contingencia de "exposición a la enfermedad" se extrajo de las encuestas sobre factores ambientales de riesgo para la salud (EFARS) realizada en la CMR por el Ministerio de Salud de la Nación durante el 2009 (34).

Se georreferenciaron las respuestas de tipo "sí/no" correspondientes a la planilla de situación de salud autopercebida referida a los ítems: "Problemas respiratorios como, por ejemplo, asma o bronquitis"; "Enfermedades parasitarias, por ejemplo, diarreas por amebas, tenias, etc." y "Cáncer". De un total de 1 521 entrevistas, 603 personas afirmaron haber tenido problemas respiratorios, 182 diarrea y 91 cáncer.

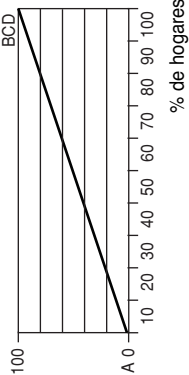
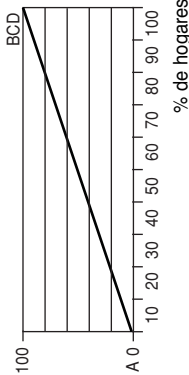
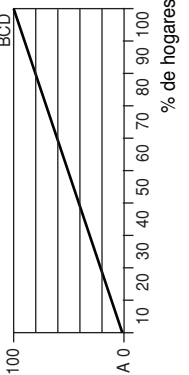
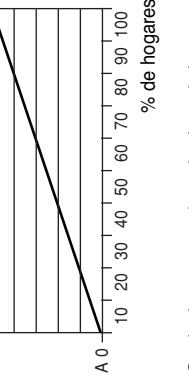
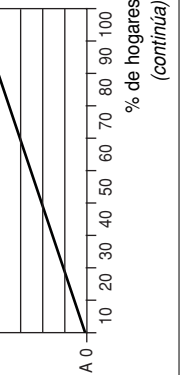
El análisis estadístico se llevó a cabo con un nivel de significación de $\alpha = 0,05$; se empleó el programa EPIDAT 3.0 (Xunta de Galicia; OPS/OMS, EE.UU.) (42).

CUADRO 1. Bases de información cartográfica digital analizadas. Cuenca Matanza-Riachuelo, Buenos Aires, Argentina, 2010

Variable	Fuente de datos y elaboración	Información original Dato gráfico	Dato temático	Información espacial derivada Dato gráfico	Dato temático
<i>Criterios indicadores de exposición</i>					
<i>Habitabilidad</i>					
Hogares con agua de red	Digitalización desde soporte papel de cartografía oficial, escala 1:5000. La nomenclatura adoptada corresponde con la establecida por el INDEC (28).	Formato: vector Entidad: polígono Unidad espacial: radio censal	Porcentaje de hogares Dato continuo	Proyección Gauss Kruger Faja 5 Campo Inchauspe Formato: raster Entidad: celda 9,2 × 9,2 m	Grado de pertenencia en la clase de hogares con agua de red. Dato continuo Grado de pertenencia en la clase de hogares con cloaca en red. Dato continuo
Hogares con sistema de eliminación de excretas por red					Grado de pertenencia en la clase de hogares con red eléctrica. Dato continuo
Hogares con gas natural por red					Grado de pertenencia en la clase de hogares con gas natural. Dato continuo
Hogares con recolección de residuos a menos de 300 m					Grado de pertenencia en la clase de hogares con recolección de residuos. Dato continuo
<i>Amenaza ambiental</i>					
Distancia a industrias	Datos localizados a través de los domicilios. Información extraída de ACUMAR (29)	Formato: raster Entidad: celda 9,2 × 9,2 m	Distancia en metros Dato continuo	Proyección Gauss Kruger Faja 5 Campo Inchauspe Formato: raster Entidad: celda 9,2 × 9,2 m	Grado de pertenencia a la clase de viviendas alejadas de industrias
Distancia a basurales	Datos localizados a través de los domicilios. Datos provenientes de ACUMAR (30)				Grado de pertenencia a la clase de viviendas alejadas de basurales
Distancia a estaciones de servicio	Datos localizados a través de los domicilios. Información provista por CIM (31)				Grado de pertenencia a la clase de viviendas alejadas de estaciones de servicio
Distancia a cementerios	Datos localizados a través de los domicilios. Información provista por CIM (32)				Grado de pertenencia a la clase de viviendas alejadas de cementerios
<i>Criterio indicador de restricción</i>					
Inundación	Digitalización y ajuste de información proveniente del Instituto Nacional del Agua (33)	Formato: vector Entidad: línea	Curso de agua o cota de nivel	Proyección Gauss Kruger Faja 5 Campo Inchauspe Formato: raster Entidad: celda 9,2 × 9,2 m	Zona inundable Dato cualitativo
<i>Modelo espacial resultante</i>					
Aptitud para residir	El dato proviene de aplicar la evaluación multicriterio con los mapas derivados listados precedentemente	Formato: raster Entidad: celda 9,2 × 9,2 m	Dato cualitativo Grado de adecuación para residir Dato continuo	Proyección Gauss Kruger Faja 5 Campo Inchauspe Formato: vectorial Entidad: polígono	Estratificación del territorio en apto y no apto Dato cualitativo
<i>Información de la salud</i>					
Morbilidad autopercebida	Datos localizados a través de los domicilios de hogares estudiados por el Ministerio de Salud (34)	Formato: vector Entidad: punto	Información binaria referida a las respuestas de distintos eventos de salud	Proyección Gauss Kruger Faja 5 Campo Inchauspe Formato: vectorial Entidad: punto	Patologías autopercebidas Dato continuo

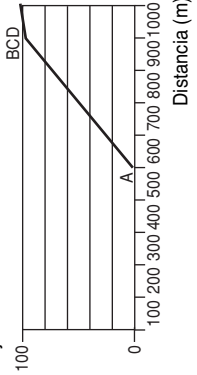
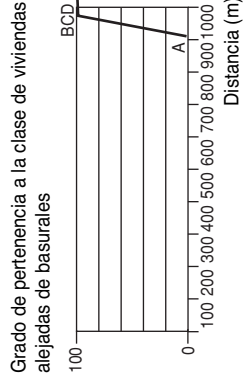
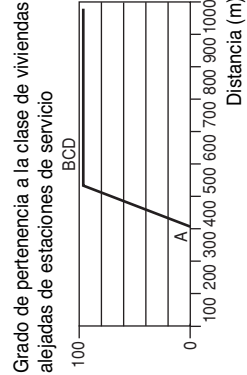
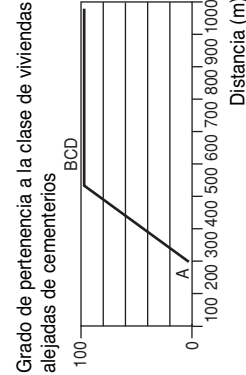
Nota: La información cartográfica digital correspondiente a la cuenca Matanza-Riachuelo pertenece a la base gráfica del Centro de Información Metropolitana (CIM). Los programas utilizados fueron Arcgis 9.3 e IDRISI. INDEC: Instituto Nacional de Estadística y Censos; ACUMAR: Autoridad de Cuenca Matanza-Riachuelo.

CUADRO 2. Listado de variables y funciones de pertenencia que se incluyen en el modelo espacial. Cuenca Matanza-Riachuelo, Buenos Aires, 2010

Condición	Observación	Variable (%)	Tendencia	Valores y puntos de inflexión	Funciones de pertenencia difusa
Riesgo para la salud por consumo de agua no potable	Las mejoras del acceso al agua potable proporcionan beneficios tangibles para la salud al garantizar el traslado y almacenamiento de la misma mediante un planteamiento integral de evaluación y gestión de riesgos, y asegurando su potabilidad para consumo e higiene	Hogares con agua de red	Lineal. A mayor proporción de hogares con agua por red, mayor valor de aptitud del sitio	Porcentajes de hogares con agua de red, desde 0 a 100%. La aptitud se incrementa proporcionalmente con la provisión de agua potable	Grado de pertenencia en la clase de hogares con con de red 
Riesgo para la salud por contaminación del suelo, cursos de agua superficiales y subterráneos	La recolección, conducción y tratamiento de los líquidos cloacales domiciliarios para la totalidad de los habitantes constituye un factor vital para evitar daños en la salud y el ambiente, particularmente en áreas densamente pobladas	Hogares con sistema de eliminación de excretas por red	Lineal. A mayor proporción de hogares con cloaca por red, mayor valor de aptitud del sitio	Porcentajes de hogares con cloaca, desde 0 a 100%. La aptitud se incrementa proporcionalmente con la provisión del servicio de cloaca	Grado de pertenencia en la clase de hogares con cloaca de red 
Riesgo sanitario e higiénico en relación con la descomposición de los alimentos	La red eléctrica disminuye los riesgos generados por la falta total o parcial de los suministros que repercute en las condiciones sanitarias e higiénicas de los hogares y en los procesos de producción y mantenimiento de los alimentos	Hogares con red eléctrica	Lineal. A mayor proporción de hogares con red eléctrica mayor valor de aptitud del sitio.	Porcentajes de hogares con electricidad, desde 0 a 100%. La aptitud se incrementa proporcionalmente con la provisión de electricidad	Grado de pertenencia en la clase de hogares con electricidad por red 
Riesgo para la salud por contaminación de ambientes cerrados	El uso de combustibles limpios para calefacción y cocción en los hogares reduce la contaminación ambiental de ambientes cerrados, disminuyendo la exposición a humos, olores y polvos	Hogares con gas natural en red	Lineal. A mayor proporción de hogares con gas natural por red, mayor valor de aptitud del sitio	Porcentajes de hogares con gas por red, desde 0 a 100%. La aptitud se incrementa proporcionalmente con la provisión de gas	Grado de pertenencia en la clase de hogares con gas natural por red 
Riesgo para la salud por contaminación de suelos, agua, aire y proliferación de vectores	La recolección periódica de residuos domiciliarios refleja la existencia de un programa de gestión de residuos. La correcta disposición de residuos sólidos evita la proliferación de vectores	Hogares con recolección de residuos a menos de 300 m.	Lineal. A mayor proporción de hogares con eliminación de residuos domiciliarios, mayor valor de aptitud del sitio	Porcentajes de hogares con recolección de residuos, desde 0 a 100%. La aptitud se incrementa proporcionalmente con la recolección de residuos	Grado de pertenencia en la clase de hogares con recolección de residuos 

(continúa)

CUADRO 2. (Continuación)

Condición	Observación	Variable (%)	Tendencia	Valores y puntos de inflexión	Funciones de pertenencia difusa
Riesgo para la salud por contaminación ambiental y exposición a sustancias peligrosas	La presencia de establecimientos industriales es poco compatible con el uso residencial. En este trabajo solo se consideraron aquellas industrias que por su actividad presente o pasada son definidas como "peligrosas" según la norma IRAM (36)	Distancia en metros a establecimientos industriales	Lineal. A mayor distancia de un establecimiento industrial, mayor aptitud del sitio	Se establece en 2 km la distancia entre el uso del territorio exclusivamente industrial y la población agrupada (38). En la CMR el uso es mixto. Se considera sitio no apto al ubicado a menos de 500 m de una industria, cuya área de influencia llega hasta los 1000 m.	Grado de pertenencia a la clase de viviendas alejadas de industrias 
Riesgo para la salud por contaminación de suelos, agua, aire y proliferación de vectores	La presencia de basurales clandestinos donde se desechan materiales químicos con productos orgánicos, la quema de basura o su vertido en pozos no cubiertos con tierra genera riesgos para la salud	Distancia en metros a basurales u otros sitios de vertido de residuos no controlado	Lineal. A mayor distancia de un basural, mayor aptitud del sitio	La ley 13592 de Gestión RSU propone una distancia mínima de 1000 m para la extracción de agua subterránea (39). Se consideró como sitio no apto a aquel localizado a menos de 1000 m de un basural, cuya área de influencia llega hasta los 1100 m	Grado de pertenencia a la clase de viviendas alejadas de basurales 
Riesgo para la salud por incendios o explosiones, y contaminación ambiental por derrames de sustancias peligrosas y exposición a los vapores de la gasolina	La presencia de estaciones de servicio aumenta los riesgos de exposición a inhalaciones de gases de combustión, como monóxido de carbono, óxidos de azufre y otros componentes de los hidrocarburos como el benceno, además de los riesgos de explosiones e incendios	Distancia en metros a una estación de servicio	Lineal. A mayor distancia de una estación de servicio, mayor aptitud del sitio	La distancia mínima entre estaciones puede ir de 150 a 600 m, y debe ser de 200 m a escuelas, hospitales, etc. (31). Se consideró no apto al sitio ubicado a menos de 300 m; el área de influencia llega hasta los 400 m	Grado de pertenencia a la clase de viviendas alejadas de estaciones de servicio 
Riesgo sanitario por contaminación de las napas con líquidos con alta carga viral patógena	Los cementerios pueden constituir un peligro por la mineralización de las partes orgánicas con generación de líquidos con alta carga viral patógena	Distancia en metros a un cementerio	Lineal. A mayor distancia de un cementerio, mayor aptitud del sitio	Un cementerio puede ser riesgoso entre 300 y 400 m del predio (41). Teniendo en cuenta las características topográficas de la CMR se consideró como no apto a un sitio ubicado hasta los 200 m de un cementerio, cuya área de influencia puede llegar a los 500 m	Grado de pertenencia a la clase de viviendas alejadas de cementerios 
Riesgo sanitario debido a inundación por desborde de ríos o anegamiento	Según la severidad de las inundaciones, aumenta el riesgo de mortalidad por ahogamiento o lesiones o accidentes durante la evacuación. Las inundaciones generan daños socioeconómicos directos e indirectos	Distancia en metros a cursos de agua o terrenos por debajo de la cota 5 m.	Binario. Las zonas inundables son una restricción para residir	Se han considerado valores más restrictivos que los establecidos por la Ley de ordenamiento territorial (37); se adoptó la cota de 5 m del IGN como cota mínima para dormitorios, baños y cocina y una prohibición de construir en una franja de terreno de 100 m de ancho ubicada a cada lado de un curso de agua	1 = zona no inundable 0 = zona inundable

Nota: la intensidad de color en la ordenada de los gráficos se corresponde con el gradiente representado en los mapas de la figura 1. IRAM: Instituto Argentino de Normalización y Certificación; IGN: Instituto Geográfico Nacional; RSU: residuos sólidos urbanos.

RESULTADOS

La selección de los criterios/ indicadores y de la escala de jerarquización resultó consistente (cuadro 3) para establecer un único valor de aptitud que sintetiza condiciones ambientales adversas para la salud. El resultado se presenta en forma de mapa (figura 1).

La clase con menor aptitud está representada por tonos oscuros distribuidos mayoritariamente en la cuenca baja, donde se da el mayor desarrollo urbano, y cubre solo 4% del territorio de la CMR. En la parte central de este sector se observa contigüidad espacial de esta clase que se superpone con el terreno inundable. La clase con mayor aptitud está representada por tonos claros de mayor extensión territorial, se distribuye en la cuenca alta e intermedia, y ocupa 24% de la CMR. Cabe recordar que el modelo fue desarrollado para el análisis de áreas urbanas, y no se han considerado factores relacionados con la actividad rural predominante de la cuenca alta. Entre ambos extremos (no aptos/ aptos) existe un gradiente de situaciones (figura 1) que a los fines del análisis se subdivide en dos zonas. La zona apta está conformada por las 3 clases de mayor valor de aptitud, mientras que la zona no apta, por las 3 de menor valor.

La clasificación dicotómica del territorio en "apto/no apto", define un umbral a partir del cual se establece la población "no expuesta/expuesta", ya que el valor de aptitud del territorio es una medida de la exposición.

La cuenca presenta 60% de su superficie en condición de aptitud, y esta área alberga a 40% de la población residente. El resto habita en territorio no apto, y 6% está en la condición más desfavorable.

La información proveniente de las 1 521 entrevistas realizadas en la CMR por el Ministerio de Salud de la Nación (34) pudo ser georreferenciada sobre el mapa de aptitud del territorio.

Las condiciones ambientales adversas para la salud, representadas por las zonas no aptas, se hicieron manifiestas en el estado de salud informado a través de la EFARS (34) para tres de las patologías contempladas: diarreas, enfermedades respiratorias y cáncer. La población entrevistada que habita en una zona "no apta" tuvo mayor prevalencia de tumores malignos (OR = 2,64; IC95%: 1,63–4,25) y de enfermedades respiratorias (OR = 1,87; IC95%: 1,52–2,30) en relación con la población entrevistada de las zonas "aptas". Respecto de los casos de diarrea informados, la diferencia entre zonas no fue significativa, aunque hubo un mayor número en las zonas "no aptas" en relación con las zonas "aptas" (102 en comparación con 80, respectivamente).

DISCUSIÓN

El modelo espacial de la CMR fue apropiado como medida de exposición por el discernimiento de niveles de aptitud del territorio, que condiciona el estado de salud de la población. Los criterios/indicadores y las variables selec-

cionados fueron adecuados en la caracterización de la cuenca, y son ampliamente citados en la bibliografía en cuanto a su relación ambiente-salud (43, 44). Los indicadores utilizados en este trabajo, como todo indicador, pueden presentar ventajas o desventajas con relación a otros; lo que hace que sean adecuados es la disponibilidad de información y su integración en una herramienta tal que se constituye en un instrumento de medición (45–47). Por eso, es importante disponer de un protocolo que garantice el entendimiento común de los peligros para la salud cuando los criterios y sus expresiones territoriales son múltiples y heterogéneos. Los centros de salud que cuentan con un sistema informatizado para registrar el motivo de consulta del paciente son un ejemplo de esto. La hoja pediátrica de pesquisa del riesgo ambiental constituye una valiosa información para la vigilancia epidemiológica ambiental, que al estar relacionada con un modelo espacial mejorará la comunicación del riesgo.

Los resultados indican que un alto porcentaje de la población de la CMR está expuesta a riesgos ambientales, aunque no se ha diferenciado su grado de vulnerabilidad. Es obvio que, frente a un gran número de habitantes, hay que establecer prioridades. Estas pueden delimitarse de manera efectiva al superponer información de grupos poblacionales de interés, como la población infantil (48) o los niños sin plan de cobertura médica (49) sobre el mapa de aptitud.

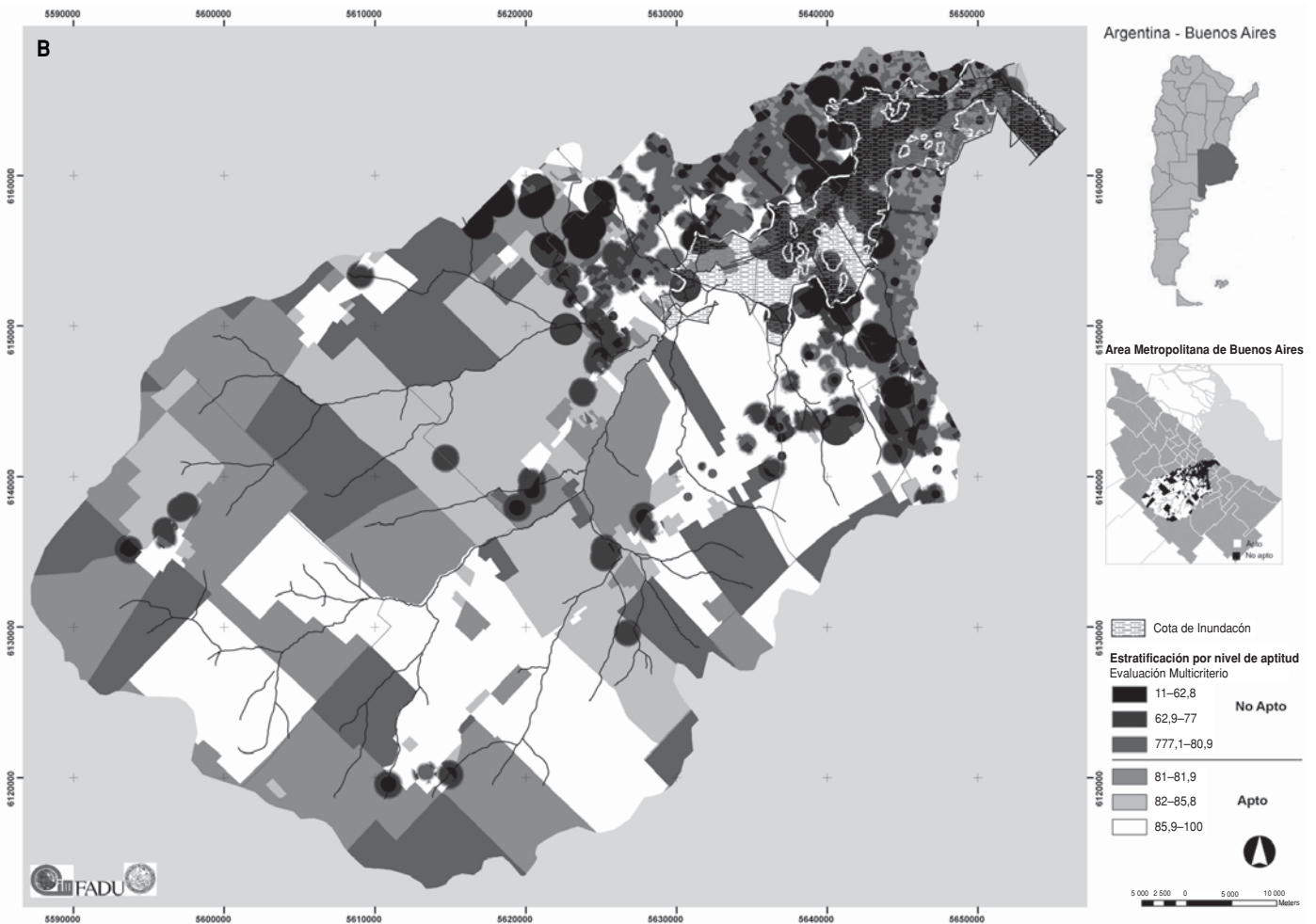
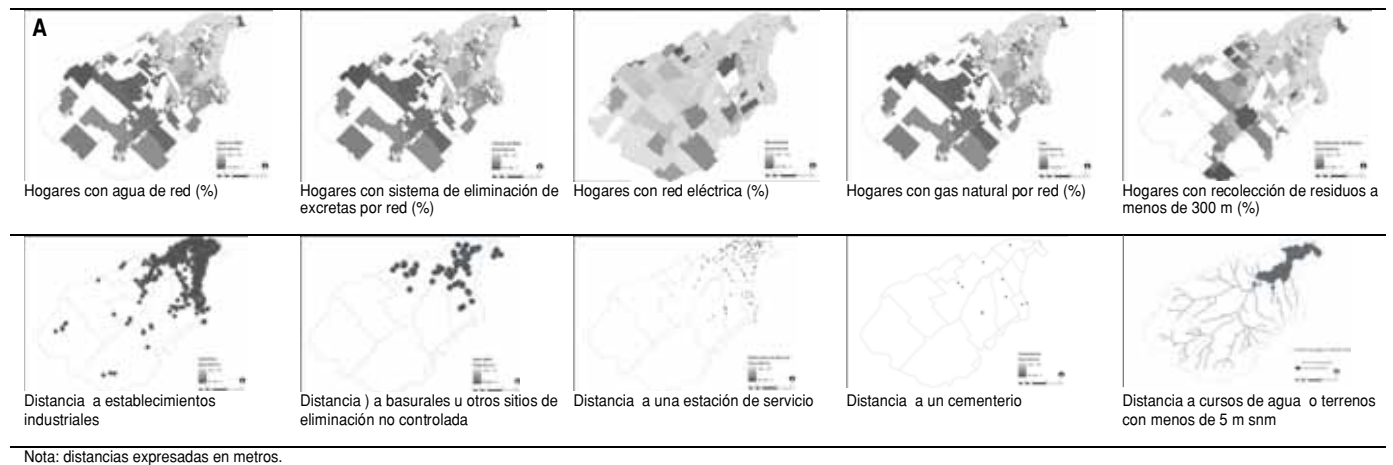
CUADRO 3. Matriz de comparaciones a pares. Asignación de juicios de importancia o preferencias de un factor sobre otro.^a Cuenca Matanza-Riachuelo, Buenos Aires, Argentina, 2010

Criterios/ Indicadores	Agua	Cloaca	Electricidad	Gas natural	Recolección de residuos	Industrias	Basurales	Estaciones de servicio	Cementerios	Peso relativo de cada factor (vector propio, × 1000)
Agua	1									78,9
Cloaca	1	1								78,9
Electricidad	1/5	1/5	1							38,1
Gas natural	1/5	1/5	1/7	1						21,7
Recolección de residuos	1/5	1/5	1/5	1/5	1					14,4
Industrias	3	3	9	9	9	1				192
Basurales	3	3	9	9	9	1	1			192
Estaciones de servicio	3	3	9	9	9	1	1	1		192
Cementerios	3	3	9	9	9	1	1	1	1	192

Razón de consistencia × 100 = 8 Aceptable

^a Para caracterizar la aptitud de un sitio para residir se consideró a las amenazas ambientales más importantes que las condiciones de habitabilidad. La ponderación de los criterios/indicadores de contaminación fue mayor que el resto. El vector propio representa el orden de prioridad de los factores para la evaluación multicriterio en el entorno de sistemas de información geográfica.

FIGURA 1. Mapa de aptitud para residir resultante de una evaluación multicriterio. Los criterios evaluados se muestran en las dos filas superiores de mapas (A). El área ampliada muestra la zonificación obtenida (B). Cuenca Matanza-Riachuelo, Buenos Aires, Argentina, 2010



^a Mapas en formato raster. Los tonos oscuros representan terrenos no aptos y, los claros, los aptos (ver cuadro 2). El área de influencia de una o varias fuentes de contaminación (puntos de los mapas de la fila inferior) y los recorridos de los arroyos (líneas) se destacan de su entorno por la no aptitud del terreno.

Otro gran porcentaje de habitantes residen en zonas expuestas a inundaciones por desbordos de ríos o anegamiento. En este aspecto es necesario verificar la in-

formación proveniente de los municipios ya que, en las zonas urbanas ya consolidadas, la ejecución de obras hidráulicas restablecería la aptitud locativa. De las

seis obras en ejecución descritas en el plan de gestión ambiental y de manejo de la CMR, cinco comprenden sectores de territorio ubicados por debajo de la cota

de 5 m (50). Dichas obras dan respuesta a las numerosas denuncias por inundación efectuadas por los vecinos (34).

Con frecuencia, en salud pública es necesario ejecutar acciones aun cuando la evidencia científica sea insuficiente; por ejemplo, reducir la exposición de la población a un posible peligro o, incluso, eliminarlo del entorno. Evitar la exposición requiere de decisiones que tienen importantes repercusiones económicas y, potencialmente, sanitarias. La evaluación multicriterio en el entorno de un sistema de información geográfica, en cuanto a herramienta de trabajo, es semejante a otras aplicadas para la toma de decisión, facilitando llegar a un consenso entre diferentes actores (51), representar los distintos enfoques frente a un mismo problema (25, 52), la búsqueda de localizaciones óptimas (53, 54), y el análisis del proceso de metropolización del territorio (55), entre otras posibilidades.

El elemento clave de este instrumento es el enfoque integrado, con el que se logra una mejor comprensión del territorio. Si bien las opiniones de los expertos respecto de la naturaleza de una asociación entre un criterio/indicador y la aptitud del territorio pueden diferir en la graduación, la función de transformación propia de la herramienta utilizada engloba las distintas consideraciones planteadas. Sin embargo, es en esta etapa donde se le asigna la mayor debilidad al método propuesto, ya que en cierto modo la elección de los factores y su ponderación son subjetivas (9), y

a veces están condicionadas por la disponibilidad de datos (52).

Entre las ventajas del modelo cabe citar que es un instrumento que incorpora datos, información y conocimientos integrados a través del espacio dando un único valor como resultado. En este sentido, el proceso metodológico empleado para la construcción del modelo es abierto y contribuye a racionalizar, optimizar y dirigir mejor las estrategias de intervención.

Es un instrumento a escala regional y, por lo tanto, requiere de una adecuación para aplicarlo localmente. Es decir, si solo uno de los municipios quisiera aplicar el resultado, debería instrumentar el modelo nuevamente sin considerar el resto del territorio, ya que la clasificación se basa en la comparación. Una desventaja es la fase de actualización del modelo, ya que requiere personal experto e información de calidad y representativa del área para llegar a un resultado consistente.

Conclusiones

El modelo espacial generado a partir de diferentes tipos de datos provenientes de distintas fuentes vinculó a través del espacio indicadores de riesgo, y permitió una clasificación del territorio adecuada para caracterizar la prevalencia de eventos de salud vinculados al ambiente.

La consideración de la cuenca como una unidad de análisis posibilita estable-

cer un único protocolo que mida la magnitud del riesgo en forma integral y, de esta manera, establecer prioridades.

La estratificación de la cuenca según la aptitud constituye una contribución para las autoridades responsables de atender aspectos tales como la exposición combinada y la interacción entre distintos contaminantes del medio ambiente. También constituye una contribución para los expertos de la salud que requieren de información ambiental. Las intervenciones podrían centrarse tanto en la exposición, reduciendo o eliminando los elementos contaminantes, como en los efectos sobre la salud. Las medidas que pueden adoptarse comprenden la prevención, el diagnóstico precoz y el desarrollo de campañas específicas.

Agradecimientos

Este trabajo se llevó a cabo con el apoyo del sistema de becas "Ramón Carrillo-Arturo Oñativia" para Proyectos Institucionales, otorgadas por el Ministerio de Salud de la Nación, a través de la Comisión Nacional Salud Investiga. Agradecemos a Ernesto de Titto de la Dirección de Determinantes de Salud del Ministerio de Salud de la Nación por sus comentarios y sugerencias al trabajo y a M. Adela Igarzabal de Nistal por facilitar las instalaciones del Centro de Información Metropolitana para el desarrollo del proyecto.

REFERENCIAS

1. Comisión federal para la protección contra riesgos sanitarios. Primer diagnóstico nacional de salud ambiental y ocupacional. México. Dirección General de Salud Ambiental; 2002. Disponible en http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/documentos/DOC_SAL7658.pdf Acceso el 24 de julio de 2011.
2. Garza Almanza V, Cantú Martínez PC. Salud ambiental, con un enfoque de desarrollo sustentable. RESPIN Julio-Septiembre 2002 3(3). Disponible en http://www.respyn.uanl.mx/iii/3/ensayos/salud_ambiental.html Acceso el 24 de julio de 2011.
3. Prüss-Ustün A, Corvalán C. Hacia una estimación de la carga de morbilidad atribuible al medio ambiente. Ambientes saludables y prevención de enfermedades. *Ambienta*. 2007;62:20-6. Disponible en <http://bases.bireme.br> Acceso el 24 de julio de 2011.
4. Organización Panamericana de la Salud. La salud y el ambiente en el desarrollo sostenible. Washington DC: Publicación científica; 2000 (572).
5. Sociedad Argentina de Pediatría. Perfil de la salud ambiental de la niñez en la Argentina: Perfil Sana. Ministerio de Salud de la Nación; 2007. Disponible en <http://www.msal.gov.ar/hm/Site/promin/UCMISALUD/publicaciones/pdf/0-intro-indice.pdf> Acceso el 24 de julio de 2011.
6. World Health Organization. Global Health Risks. Mortality and burden of disease attributable to selected major risks. Switzerland; 2009. Disponible en www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/GlobalHealthRisks_report_full.pdf Acceso el 24 de julio de 2011.
7. Comisión de las Comunidades Europeas. Estrategia europea de medio ambiente y salud. Comunicación de la comisión al consejo, al parlamento europeo y al comité económico y social europeo. Bruselas, 11.6.2003 COM2003_338final. Disponible en <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2003:0338:FIN:ES:PDF> Acceso el 24 de julio de 2011.
8. Gutiérrez Angonese J, Gómez Delgado M, Bosque Sendra J. Simulación de crecimiento urbano mediante evaluación multicriterio y TIG en el Gran San Miguel de Tucumán. Argentina. En: Ojeda, J., Pita, M.F., Vallejo, I. eds. *Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos*. Sevilla: Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla; 2010. Pp. 873-88.
9. Lamelas Gracia, M. T. Esquema metodológico para la toma de decisiones sobre el uso

- sostenible del suelo: Aplicación a la localización de suelo industrial. *GeoFocus*. 2009;9:28-66. Disponible en http://geofocus.rediris.es/2009/Articulo2_2009.pdf Acceso el 24 de julio de 2011.
10. Olivas Gallegos UE, Valdez Lazalde RJ, Alderete A, González Guillen M, Vera Castillo G. Áreas con aptitud para establecer plantaciones de maguey cenizo: definición mediante análisis multicriterio y SIG. *Rev. Fitotec. Mex.* 2007;30(4):411-9. Disponible en <http://revistafitotecniamexicana.org/documentos/30-4/8a.pdf> Acceso el 24 de julio 2011.
 11. Gómez Orea D. Evaluación del Impacto Ambiental. Un instrumento preventivo para la gestión ambiental. Madrid: Edición Mundi-Prensa; 1999.
 12. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Evaluación de riesgos humanos, ambientales y ecológicos. Disponible en <http://www.bvsde.ops-oms.org/tutorial/humanos/exposicion.html> Acceso el 24 de julio de 2011.
 13. Eastman RJ, Kyem PAK, Toledano J, Jyn W. *Idrisi GIS and Decision Making*. USA. Clark University. NITAR IV; 1993.
 14. Barredo J, Bosque Sendra J. Integración de evaluación multicriterio y sistemas de información geográfica para la evaluación de la capacidad de acogida del territorio y la asignación de usos del suelo. *Actas del IV Congreso Español de Sistemas de información Geográfica*. Barcelona; 1995. Pp. 191-200.
 15. Bosque J, Díaz MA, Gómez M, Rodríguez VM, Rodríguez AE, Vela A. Un procedimiento basado en un SIG, para localizar centros de tratamiento de residuos. *España. Anales de Geografía de la Universidad Complutense*. 1999;19:295-323.
 16. Bosque Sendra J. Planificación y gestión del territorio. De los SIG a los Sistemas de ayuda a la decisión espacial (SADE). Departamento de Geografía, Universidad de Alcalá, Madrid, España. *El Campo de las Ciencias y las Artes*, Madrid, España, 2001;138:137-74. Disponible en <http://www.geogra.uah.es/joaquin/pdf/SIG-y-SADE.pdf> Acceso el 24 de julio de 2011.
 17. Malpartida AR. La cuenca del río Matanza Riachuelo. Revisión de antecedentes de recursos naturales. Compuestos xenobióticos y otros polutantes en la cuenca. Argentina. Universidad Tecnológica Nacional; 2004. Disponible en <http://www.bav.agenciaambiental.gov.ar/reppositorio/files/riachuelo/informeriachuelo.pdf> Acceso el 24 de julio de 2011.
 18. Autoridad de la Cuenca Matanza Riachuelo. Evaluación Ambiental del Proyecto de Desarrollo Sustentable de la Cuenca Hídrica Matanza Riachuelo. Argentina. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación; 2007. Disponible en http://www.gpia.info/files/u496/ACUMAR_Doc.pdf Acceso el 24 de julio de 2011.
 19. Subsecretaría de Recursos Hídricos. Criterios conceptuales propuestos para la integración, articulación y actualización tendientes al completamiento y desarrollo del plan director básico de drenaje pluvial de la cuenca del río Matanza-Riachuelo. Argentina. Secretaría de Obras Públicas. Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios; 2009. Disponible en http://www.alestuariodelplata.com.ar/Plan_Director_%20Basico_%20Drenaje_Pluvial%20.pdf Acceso el 24 de julio de 2011.
 20. Sistema de Información, Monitoreo y Evaluación de Programas Sociales. Villa Inflammable. Partido de Avellaneda. Buenos Aires. Relevamiento con Ficha Social "Las Familias Cuentan". Informe. Consejo Nacional de Coordinación de Políticas Sociales. Presidencia de la Nación. Argentina. Disponible en <http://www.lib.utexas.edu/benson/lagovdocs/argentina/federal/jgm/Paginas/MemoriaDetallada04/Anexo2004MinDesSocia.pdf> Acceso el 24 de julio de 2011.
 21. ESRI. *Gis software*. ArcGIS 9.31. USA.
 22. Zadeh LA. Fuzzy sets. *Information and Control*. 1965;8:338-53. Disponible en <http://www.bisc.cs.berkeley.edu/Zadeh-1965.pdf>. Acceso el 24 de julio de 2011.
 23. Burrough PA, McDonnell RA. *Principles of geographical information systems*. Oxford: Oxford University Press; 1998.
 24. Barredo Cano, J I. *Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*. Madrid: RA-MA Editorial; 1996.
 25. Florent J, Theriault M, Musy A. Using GIS and outranking multicriteria analysis for land-use suitability assessment. *International Journal of Geographical Information Science*. 2001;15(2):153-74.
 26. López Vázquez VH, Bosque Sendra J, Gómez Delgado M. Flexibilidad de los SIG para asistir a la toma de decisiones espaciales. *Actas del XI Coloquio Ibérico de Geografía*, Alcalá de Henares, España; 2008. Disponible en <http://www.geogra.uah.es/joaquin/articulos.html> Acceso el 24 de julio de 2011.
 27. Santos Preciado JM. El planteamiento teórico multiobjetivo multicriterio y su aplicación a la resolución de problemas medioambientales y territoriales, mediante los S.I.G. *Raster Espacio, Tiempo y Forma. Serie VI. Geografía*. 1997;10:129-51.
 28. Instituto Nacional de Estadística y Censos. *Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2001. Serie 2*. Argentina. Disponible en http://www.indec.gov.ar/webcenso/provincias_2/provincias.asp. Acceso el 24 de julio de 2011.
 29. Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo. *Agentes Contaminantes. Listado actualizado de Agentes Contaminantes*. Argentina, 2010. Disponible en http://www.acumar.gov.ar/informacionPublica_georreferenciacion.php Acceso el 24 de julio de 2011.
 30. Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo. *Plan Maestro de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos*. Argentina, 2010. Disponible en <http://www.acumar.gov.ar/index.php>. Acceso el 24 de julio de 2011.
 31. Centro de Información Metropolitana. *Listado de estaciones de Estaciones de Servicio del Área Metropolitana de Buenos Aires*. Argentina. 2009. Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, UBA. Disponible en <http://www.fadu.uba.ar/sitios/cim/cim/datosdisponibles.htm>. Acceso el 24 de julio de 2011.
 32. Centro de Información Metropolitana. *Georreferenciación de cementerios y Jardines de Paz de la Provincia de Buenos Aires y Capital Federal*. Argentina. 2009. Facultad de Arqui-
 33. Instituto Nacional del Agua. *Atlas digital de los recursos hídricos superficiales de la República Argentina*. Argentina. Secretaría de Obras Públicas; 2002. Disponible en <http://catalogo.mecon.gov.ar/ver.php?pub=691>. Acceso el 24 de julio de 2011.
 34. Dirección de Determinantes de la Salud. *Encuesta sobre factores ambientales de riesgo para la salud Cuenca Matanza-Riachuelo. Informe y Base de datos*. Argentina. Ministerio de Salud de la Nación; 2009.
 35. Unidad de Servicios de Salud y calidad. *Dirección General de Salud. Atención integrada a las enfermedades prevalentes de la infancia en el marco de la meta "Desnutrición cero" AIEPI-Nut. Cuadros de procedimientos*. Bolivia. La Paz Ministerio de Salud y Deportes; 2006. Disponible en http://www.ops.org.bo/texto_completo/ndes28486.pdf Acceso el 24 de julio de 2011.
 36. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. *IRAM 29481-5. Calidad ambiental. Calidad de suelo. Muestreo. Parte 5: Directivas para la investigación de sitios urbanos e industriales con respecto a la contaminación de suelos*. Argentina; 2004. Disponible en <http://www.construsur.com.ar/module-Normas-view-nid-1144.html>. Acceso el 24 de julio de 2011.
 37. *Ley de Ordenamiento Territorial y Uso del Suelo. Decreto-Ley 8912/77*. Subsecretaría de Urbanismo. Argentina. Dirección de Ordenamiento Urbano; 1977. Disponible en <http://www.gob.gba.gov.ar/legislacion/legislacion/1-8912.html>. Acceso el 24 de julio de 2011.
 38. Lazcano Brotóns I. *Licencia de actividad y distancia mínima de dos mil metros: aplicación judicial y problemas competenciales*. *Revista Vasca de Administración Pública*. 2004;70. Disponible en <http://www.eitelkarte.com/dokumentuak/nota1.pdf> Acceso el 24 de julio de 2011.
 39. Provincia de Buenos Aires. *Ley 13592. Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos*. Argentina. Buenos Aires. Disponible en <http://www.gob.gba.gov.ar/legislacion/legislacion/1-13592.html> Acceso el 24 de julio de 2011.
 40. Peluso F, Vives L, Varni M, Cazenave J, González Castelain J, Usunoff E. *Evaluación preventiva espacial del riesgo sanitario por la instalación de un cementerio parque*. *GeoFocus*. 2006;6:1-14.
 41. Saaty TL. *A scaling method for priorities in hierarchical structures*. *Journal of Mathematical Psychology*. 1977;15:234-81.
 42. Organización Panamericana de la Salud, Dirección Xunta de Galicia. *EPIDAT. Programa para análisis epidemiológico de datos tabulado. Versión 3.0*. España; 2003.
 43. Quentin E, Diaz Delgado C, Gómez Albores MA, Manzano Solís L R, Franco Plata R. *Desarrollo geomático para la gestión integrada del agua*. México. Centro Interamericano de Recursos del Agua. Universidad Autónoma del Estado de México; 2007 [Internet]. Acceso el 24 de julio de 2011.
 44. Corvalán C, Briggs D, Zielhuis G. *Decision-making in environmental health. From evidence to action*. World Health Organization; 2000 [Internet]. Acceso el 24 de julio de 2011.

45. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. Sistema de Indicadores de Desarrollo Sostenible. Argentina. Jefatura de Gabinete de Ministros. Presidencia de la Nación. 4ª ed; 2009.
46. Gosselin P, Furgal C, Ruiz A. Indicadores básicos de salud pública ambiental propuestos para la región de la frontera México-Estados Unidos. OPS; 2002. Disponible en <http://www.fep.paho.org/spanish/env/indicadores/indsa.htm> Acceso el 24 de julio de 2011.
47. Rushton G, Armstrong MP. Improving public health through geographical information systems: an instructional guide to major concepts and their implementation. Introduction and Contents. Iowa. The University of Iowa; 1997. Disponible en <http://www.uiowa.edu/~geog/health/> Acceso el 24 de julio de 2011.
48. Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo. Plan sanitario de emergencia. Fase Diagnóstico. Argentina [Internet]. Acceso el 24 de julio de 2011.
49. Defensoría del Pueblo de la Nación. Atlas del Riesgo Ambiental de la Niñez de Argentina. Dirección de Derechos Sociales. Buenos Aires. Área de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable; 2009. Disponible en http://www.mapasderecursos.org.ar/?ficha_biblioteca&id=356 Acceso el 24 de julio de 2011.
50. Dirección provincial de saneamiento y obras hidráulicas. Cuenca Matanza Riachuelo. Informe. Provincia de Buenos Aires. Ministerio de Infraestructura; 2009:22-45.
51. Velasco Bernardo C, Palacios Morera M. El Sistema de Simulación Territorial de Extremadura y Análisis Multicriterio. Tecnologías Geográficas para el Desarrollo Sostenible. Departamento de Geografía. Universidad de Alcalá. 2000:331-351 [Internet]. Acceso el 24 de julio de 2011.
52. Tardivo R. Asignación óptima de usos del suelo con sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio. GIS BRASIL 99. Salvador de Bahía, Brasil. 19 al 23 de Julio 1999 [Internet]. Acceso el 24 de julio de 2011.
53. Ghribi M. Optimal site planning: fuzzy set membership, multi-criteria evaluation and multiobjective land allocation. International Centre for Science and high technology. United Nations Industrial Development Organization. Trieste, Italy. 2006.
54. Mena Frau C, Valenzuela J, Ormazabal Rojas Y. Modelación espacial mediante geomática y evaluación multicriterio para la ordenación territorial. Tarapacá, Rev. Fac. Ing. Univ. 2006;14(1): 81-9.
55. Cos Guerra O. SIG y evaluación multicriterio: Propuesta metodológica para cuantificar el grado de metropolización en el territorio. Mapping interactivo. Revista Internacional de Ciencias de la Tierra. 2007. Disponible en http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=1371 Acceso el 24 de julio de 2011.

ABSTRACT

Multicriteria evaluation of environmental risk exposure using a geographic information system in Argentina

Objective. Develop a spatial model that includes environmental factors posing a health hazard, for application in the Matanza-Riachuelo River Basin (MRB) in Argentina.

Methods. Multicriteria evaluation procedures were used with geographic information systems to obtain territorial zoning based on the degree of suitability for residence. Variables that characterize the habitability of housing and potential sources of basin pollution were geographically referenced. Health information was taken from the Risk Factor Survey (RFS) to measure the relative risk of living in unsuitable areas (exposed population) compared with suitable areas (unexposed population).

Results. Sixty percent of the MRB area is in suitable condition, a situation that affects 40% of residents. The rest of the population lives in unsuitable territory, and 6% live in the basin's most unsuitable conditions. Environmental conditions that are detrimental to health in the unsuitable areas became evident during the interviews through three of the pathologies considered: diarrheal diseases, respiratory diseases, and cancer.

Conclusions. A regional analysis that provides valid information to support decision-making was obtained. Considering the basin as a unit of analysis allowed the use of a single protocol to undertake comprehensive measurement of the magnitude of risk and, thus, set priorities.

Key words

Environmental exposure; risk groups; environmental health; hydrographic basins; geographic information systems.