

RESUMEN

Los basurales a cielo abierto y los rellenos sanitarios son sitios que tienen como propósito de albergar residuos sólidos urbanos. Su incorrecta localización puede ocasionar perjuicios en términos de salud y ambientales, entre otros, afectando la calidad de vida de la población. El presente trabajo propone una metodología para determinar lugares propicios para la instalación de basurales a partir de combinar el uso de SIG y evaluación multicriterio. Entre los criterios a tener en consideración se incluyen variables de tipo geográficas y topográficas, paisajísticas, geológicas y climatológicas. No obstante, a los efectos de estudiar la evolución temporal del relleno deben considerarse también otras variables como la tasa de crecimiento poblacional, el tipo y cantidad de desechos producidos a diario así como las posibles zonas de expansión urbana, entre otros factores, motivo por el cual la localización de un basural no culmina con la determinación del lugar más apropiado sino que deben preverse efectos que se producirán al cabo de cierto tiempo como el plazo en que se alcanzará la capacidad máxima y la duración prevista, entre otros.

Palabras Clave:

Basural - Evaluación multicriterio - SIG - Uso del suelo.

INTRODUCCIÓN

Los sitios de disposición final, a pesar de ser, en general, semi controlados (en el mejor de los casos abarcan protección perimetral, control de ingreso con balanza y cobertura diaria con tierra), buena parte de ellos no alcanzan a cumplir los requerimientos mínimos de aptitud y protección de la salud y el ambiente. Por otro lado, la comunidad generalmente plantea una gran resistencia ante aspectos relacionados con la ubicación en sus localidades de ciertos componentes operativos (transferencia, tratamiento y disposición final) de la gestión de residuos urbanos. Esta problemática se conoce como "Efecto NIMBY" (Sigla del inglés "Not in My Back Yard"), y representa el rechazo de la población a la

instalación de ciertos componentes operativos en las cercanías de su lugar de residencia (ENGIRSU, 2005).

La incorrecta localización de los basurales suelen presentar, entre otros, los siguientes inconvenientes (Mesa y Révora, 2001):

- Contaminan las napas freáticas.
- Generan el ambiente propicio para el desarrollo de enfermedades.
- Originan malos olores.
- Pueden provocar incendios.
- Deprecian los valores inmobiliarios de áreas próximas.

METODOLOGÍA

El sitio o localización donde instalar un basural y/o relleno sanitario debería considerar una serie de requisitos para minimizar el impacto ambiental, social y económico. De la bibliografía consultada y el conocimiento de los autores, surgen cuestiones generales que se deben definir previamente a la aplicación de la metodología aquí presentada. Entre las **consideraciones preliminares** a tener en cuenta, se encuentran:

- 1- Considerar la normativa ambiental vigente a diferentes niveles de jurisdicción.
- 2- Tener en cuenta el/los tipos de residuos urbanos a disponer.
- 3- Definir la tecnología a utilizar (basural a cielo abierto, semi-controlado, etc.).
- 4- Determinar la superficie requerida en función del volumen diario de residuos y el tiempo de vida estimado de la instalación.

Posteriormente a las cuestiones normativas y técnicas, resulta adecuado evaluar al menos los siguientes criterios que se detallan clasificados por categorías:

Criterios geográficos y topográficos:

1. Ubicación lo más próxima posible al "centro de gravedad" respecto a los focos productores de residuos.
2. Facilidad de acceso al sitio de disposición final.
3. Distancia mínima del basural a áreas urbanas, asentamientos y zonas de reserva urbana (planificada para expansión) no inferior a la sugerida por normativa vigente.
4. Distancia mínima de la escuela rural al basural no inferior a la sugerida por normativa vigente.
5. Distancia mínima del basural a centros de salud / hospitales no inferior a la sugerida por normativa vigente.
6. Establecer el rango de pendientes aceptables del sitio.
7. Posición relativa en el paisaje.
8. Respetar cierta distancia mínima a curso hídrico o cuerpo de agua (canal, arroyo, río, laguna, lago, etc.) según normativa vigente.

Criterios paisajísticos:

9. Área no correspondiente a humedal y de bajo interés paisajístico.
10. Respetar cierta distancia mínima a áreas protegidas/reservas naturales según normativa vigente.
11. Considerar áreas que no correspondan a sitios arqueológicos / históricos / patrimoniales.

Criterios geológicos:

12. Escoger tipos de suelo de baja productividad y subsuelo con alto grado de impermeabilidad.
13. Evitar áreas de carga/descarga de acuíferos.
14. La profundidad mínima a la napa freática no debe ser inferior a lo establecido en las normativas vigentes.
15. La distancia mínima a cono de abatimiento de pozo de agua para consumo no inferior a lo estipulado en la normativa vigente.

Criterios climatológicos:

16. Preferiblemente, elegir zonas de pluviometrías bajas.
17. Preferiblemente, elegir zonas de temperaturas bajas.
18. Vientos dominantes en dirección a zonas despobladas.

Estas variables se analizarán con un enfoque cuantitativo, en formato no binario, con valores enteros positivos, que permitan obtener una graduación de la aptitud de uso del suelo para ser utilizado como basural. Toda la información a incluir en el análisis deberá georreferenciarse para ser procesada en un sistema de información geográfica (SIG).

La información puede ser obtenida en formato vectorial o raster. En el caso de que se incluya información de tipo vectorial, la misma deberá convertirse al formato raster, para luego poder realizar la evaluación multicriterio.

La resolución espacial (tamaño de píxel) quedará definida tomando en consideración la escala de trabajo factible a utilizar, y la resolución espacial mínima aceptable de la variable que demande mayor precisión. En la medida de lo posible todas las variables deberían adquirirse en dicha resolución mínima, de lo contrario se deberán remuestrear (resampling).

Cada criterio definirá áreas con diferente grado de aptitud y se requerirá para ello, conocer los valores mínimos y máximos permitidos. Por ejemplo, con respecto al distanciamiento a áreas urbanas, cuanto más alejado de la población urbana se encuentre un sitio de disposición final, se considerará más apto, pero esto es inversamente proporcional a la rentabilidad del traslado. Esto obliga a asignar valores máximos y mínimos que se definirán en relación a la normativa vigente en cada sitio en estudio, y en caso de inexistencia, se deben asignar de manera criteriosa.

Luego de realizada la conversión a raster, se pueden afectar los valores de cada capa por un peso (ponderación). En tal caso, los valores máximos y mínimos a utilizar en la normalización resultarán del producto entre el peso de la capa y el/los valor/es (máximo y/o mínimo) recomendado por la normativa vigente. Por defecto cada variable tendrá el mismo peso (igual a 1 / Número de capas), a no ser que se especifiquen otros valores diferentes. En caso de modificarse el peso de una o más capas se debe tener en cuenta que la suma de los pesos a asignar debe sumar 1.

Además, teniendo en cuenta que cada criterio o variable tendrá un rango de valores diferente, se debe aplicar un proceso que permita la comparación entre ellas, con valores de aptitud que pertenezcan a un mismo rango. A continuación se describe un proceso de normalización (método que se suele utilizar) siguiendo el ejemplo de la distancia al área urbana, en la que hay que respetar un valor mínimo prudente (límite o valor mínimo de 2 km según lo sugerido por Mesa y Révora 2001) así como también un valor máximo admisible en el que ya no sería rentable trasladar residuos sólidos urbanos (por inviabilidad económica o por normativa, como en el caso del Decreto-Ley 9111/78 (CEAMSE), que no permite el traslado a más de 20 km. del departamento de origen). En tal caso la función resultante quedaría de la siguiente manera:

$$f(x) = \text{round}(((\max - x) / (\max - \min))^*10)$$

Por consiguiente, tomando los valores del ejemplo, se obtiene la siguiente función:

$$f(x) = \text{round}(((20 - x) / (20 - 2))^*10) \quad \text{para } 2 \leq x \leq 20$$

$$0 \text{ para } x \text{ no incluido en el intervalo } 2 \leq x \leq 20$$

Entonces, si  $x = 1$  km. el valor es 0 (no apto), si  $x = 2$  km., entonces el resultado es 10 (valor más óptimo).

La situación inversa, en la cual, un mayor valor de distancia es la mejor situación se resuelve:

$$f(x) = \text{round}(((x - \min) / (\max - \min))^*10)$$

Si bien los valores del dominio de las variables puede ser diferente, el resultado luego de aplicar la función de aptitud deberá estar en el rango [0,10].

Una vez obtenidos los resultados de cada variable luego de aplicar la función de aptitud (cuyo resultado es una capa raster de dimensiones X,Y), se procede a realizar la compilación (stack) de las diferentes capas de información, conformando una matriz de datos X, Y, Z. Algunas de las variables incorporadas tendrán valor cero (no apto), con lo cual, se aplicará una fórmula condicional para definir una máscara de áreas no aptas. Esta condición está definida como: "si algún valor del vector que describe a un píxel contiene un dato con valor cero, entonces definirá el valor 0 para la imagen resultante (máscara booleana), de lo contrario, será 1".

La evaluación multicriterio se efectúa realizando la sumatoria de los vectores asociados a cada píxel pudiendo obtener un mínimo de 0 (área no apta enmascarada) y un máximo valor de 10 multiplicado por la cantidad de variables analizadas. En definitiva, el resultado de la evaluación multicriterio es una imagen raster con valores de píxel que definen un mayor grado de aptitud cuanto mayor es el valor de la celda.

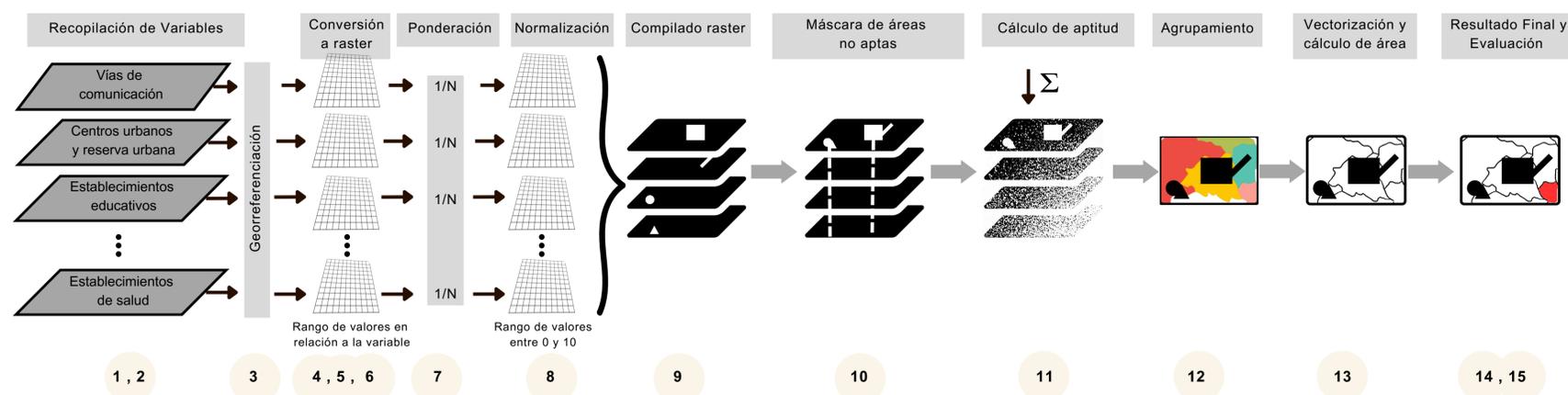
Es posible que no se originen zonas con agrupamiento de píxeles de un mismo valor que cumplan el requerimiento de superficie mínima para el emplazamiento, es por esto, que se propone crear una nueva capa raster con un agrupamiento de rango de valores de aptitud (por ejemplo en deciles) con el objetivo lograr áreas homogéneas, obteniendo un mapa temático de aptitud de uso en el que cada píxel representa un rango de valores de la función de aptitud. Para evitar el análisis por interpretación visual y subjetiva del usuario, posteriormente se vectorizan las áreas (vector tipo polígono) y se calculan las superficies de cada área homogénea.

Finalmente, restará evaluar las áreas homogéneas de mayor puntaje que cumplan con el requerimiento de superficie definido en las consideraciones preliminares.

RESULTADOS

Como resultado de la investigación y análisis se obtuvo el proceso o serie de etapas que detallan una metodología para la definición de áreas con diferente grado de aptitud para la adecuada localización de un basural. A continuación se enumera y representa en forma gráfica la metodología propuesta:

- 1-Obtención de variables y parámetros (cálculo de valores para dimensionamiento).
- 2-Recopilación de la información geográfica (formato raster o vector).
- 3-Georreferenciado de variables en entorno SIG (de ser necesario).
- 4-Conversión de variables a formato raster.
- 5-Remuestreo de variables a la mínima resolución espacial requerida.
- 6-Definición de límites mínimos y máximos para cada variable en estudio.
- 7-Ponderación de variables (opcional).
- 8-Normalización de variables (0- 10).
- 9-Compilación multicapa de las imágenes raster (stack).
- 10-Máscara de valores cero (no apto), para todo píxel con al menos 1 valor en cero.
- 11-Cuantificación de la aptitud a nivel píxel (suma).
- 12-Agrupamiento por valores similares (definición de áreas homogéneas).
- 13-Vectorización (poligonización) y cálculo de superficie.
- 14-Selección de polígonos de superficie igual o superior a la requerida.
- 15-Evaluación por interpretación visual y análisis experto de los polígonos de mayor aptitud



CONCLUSIONES

La localización óptima de un relleno sanitario es una decisión que requiere el análisis de múltiples variables. Su incorrecta localización puede traer aparejado problemas de salud (debidos por ejemplo a la contaminación de napas, olores indeseables, transmisión de enfermedades a partir de roedores), ambientales (mayores emisiones de CO2, contaminación atmosférica) y económicos (pérdida de valor de terrenos adyacentes), entre otros.

Si bien este problema es atemporal, es decir, una correcta localización siempre es requerida, sea en tiempos de pandemia o no, sus consecuencias en términos de salud en tiempos de pandemia provocaría un estrés aún mayor a los establecimientos de salud, además de mayores costos asociados a este servicio. Por lo tanto, una metodología como la aquí propuesta contribuye a una correcta planificación del territorio y, al mismo tiempo, mejora aspectos vinculados con el ambiente, la salud y la economía, entre otros, y que inciden, por lo tanto, en la calidad de vida de la población.