

Modelo de optimización de localización de estaciones de gas natural en la ciudad de Aguascalientes

Fernanda Flores¹

Diego García Tinajero¹
Jannet Tamayo¹

Adrián Martínez¹
Iván Vega¹

Aldo Rangel ¹

¹Centro de Investigación en Matemáticas A.C.
Avenida de la plenitud 103, Fracc. José Vasconcelos
CP 20200, Aguascalientes, Ags.

Resumen

El objetivo de este trabajo es proponer las posibles ubicaciones de estaciones de gas para el estado de Aguascalientes desde tres perspectivas diferentes : maximizar la mínima distancia entre las estaciones, minimizar la distancia entre las posibles estaciones y los ductos y una combinación de los dos enfoques previos. Para ello, se proponen tres modelos diferentes y se analizan los resultados obtenidos de cada uno.

I. Introducción

En la actualidad, la necesidad por el uso de tecnologías amigables para el medio ambiente ha incrementado considerablemente, uno de los sectores en los cuales se ha hecho más énfasis es en el sector del transporte, ya que los automóviles que utilizan gasolina son una de las principales fuentes de contaminación del aire.

Como alternativa, han surgido los vehículos de gas natural, los cuales ofrecen grandes beneficios económicos y ambientales. Entre los beneficios de los vehículos de gas natural se encuentran que son limpios (el gas natural es combustible limpio a comparación de la gasolina), existe una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y abastecer un vehículo es menos costoso que el uso de gasolina.

Por estas razones, la demanda del uso de vehículos de gas natural ha aumentado en los últimos años, por lo que las cadenas de suministro para el abastecimiento de vehículos de gas natural también ha aumentado. De este modo, se requiere de una infraestructura capaz de abastecer y controlar las necesidades de la demandada vehicular. Por lo tanto, la elección de la estaciones de gas es un tema de gran interés en el estado de Aguascalientes, ya que actualmente se cuentan con cinco estaciones de gas y dos estaciones de servicio.

II. Marco teórico

II.1. Restricciones de ubicación para estaciones de Gas Natural

De acuerdo a la Norma Técnica Metropolitana Para la Regulación de Estaciones y Ductos de Gas Natural emitido por el Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo del Área Metropolitana de

Guadalajara (IMEPLAN) [2], las restricciones por ubicación asociadas con la instalación de estaciones de Gas Natural son las siguientes:

a) **Restricción por perímetros de protección patrimonial.**

Está prohibido instalar estaciones de gas natural en áreas definidas como Perímetros de Protección al Patrimonio Histórico en los programas o planes de desarrollo urbano correspondientes;

b) **Restricción por riesgos.**

El desarrollo de las estaciones de gas natural se encuentra condicionado a resultados de estudios de riesgos desarrollados conforme al Anexo 1 de la Norma;

c) **Restricción por cercanía a empresas de alto riesgo y actividad altamente riesgosa.**

Las estaciones de gas natural deberán respetar una distancia mínima de separación de 100 metros a partir del límite próximo de predio a predio o lo que se establezca en las disposiciones aplicables a giros que sean consideradas de alto riesgo y/o actividad altamente riesgosa;

d) **Restricción por lugares de concentración masiva.**

La ubicación de la estación de gas natural deberá respetar una distancia mínima de 100 metros de resguardo definido a partir del límite próximo de predio a predio de lugares de concentración masiva como centros comerciales, hospitales, clínicas, centros de recreo, parques recreativos, salas de conciertos y cualquier otro lugar de concentración pública, cuya concentración ordinaria sea un mínimo de ochenta personas en un espacio de tipo cerrado o abierto, de uso público o privado.

e) **Restricción a paraderos.**

La ubicación de paraderos no podrá ubicarse a 15 metros o menos del predio donde se pretenda desarrollar una estación de servicio;

f) **Restricción por centros de atención infantil, escuelas o centros educativos.**

La ubicación de la nueva estación de gas natural deberá respetar una distancia mínima de 250 metros de resguardo definido a partir del límite próximo de predio a predio de centros de atención infantil, escuelas o cualquier otro centro educativo;

g) **Restricción entre estaciones de servicio.**

El predio que pretenda destinarse para implementar una estación de gas natural deberá respetar las siguientes distancias con respecto a estaciones de gas natural ya establecidas o en proyecto autorizado, conforme a la relación de la siguiente tabla:

Distancias de resguardo entre Estaciones de suministro de GNC, por efectos de radiación térmica, sobrepresión e inflamabilidad	
Descripción	Distancia entre estaciones (Metros)
Estación de suministro de GNC - Estación de suministro de GNC	750
Estación de suministro de GNC - Estación Sakélite	1,500
Estación Satélite - Estación Satélite	1,500

Tabla 1. Definición de distancias entre estaciones de gas natural, elaboración IMPLAN.

h) **Restricción por paso de infraestructura.**

Las estaciones de gas natural deberán instalarse a una distancia mínima de 20 metros de separación de las líneas de tensión de hasta 30 kV, 50 metros para las líneas de tensión superiores a 50 kV y 30 metros para vías férreas. Quedan exentos los ductos de GN conectados a las estaciones, debido a que estas lo requieren para su operación.

i) **Restricción por uso habitacional.**

No se permite la instalación de estaciones de gas natural en predios caracterizados para uso habitacional; debiendo ser compatible en su clasificación para el otorgamiento de su dictamen de usos y destinos del suelo por la autoridad municipal, como actividad altamente riesgosa.

j) **Restricciones por normas oficiales.**

Además de las restricciones ya descritas deberán atenderse las especificaciones y requisitos establecidos tanto en las Normas Oficiales Mexicanas como y las demás Normatividad aplicables en la materia.

En la industria del gas natural vehicular, un factor indispensable es la buena localización de las estaciones de gas.

Los problemas de localización han sido aplicados a una gran cantidad de áreas, con el objetivo de satisfacer la demanda y satisfacción del cliente. Sin embargo, para el problema de localización de estaciones de gas vehicular en la ciudad de Aguascalientes no se tiene ningún indicio sobre algún estudio previo. En [1] se desarrolló y empleó un método de elección y ponderación de ubicaciones mediante el uso de herramientas cuantitativas y cualitativas de selección y localización de estaciones de servicio de gas natural vehicular.

En el presente trabajo, se da un primer acercamiento al problema de localización de estaciones de gas natural en la ciudad de Aguascalientes. Para su elaboración, se hizo una búsqueda de las ubicaciones de escuelas, hospitales y centros médicos, estaciones de gas, estaciones de servicio y terrenos baldíos, estos últimos como posibles ubicaciones para estaciones de gas vehicular. Se tomó en cuenta [2], que contiene la Norma Técnica Metropolitana Para la Regulación de Estaciones y Ductos de Gas Natural.

III. Metodología

Partiendo de la información obtenida, se plantearon diferentes propuestas para el modelo del problema, con diferentes enfoques.

- La maximización de la mínima distancia entre las estaciones de gas natural por establecerse, entre ellas mismas y con respecto a las ya existentes (1), lo cual permite que la competencia entre las estaciones establecidas disminuya.
- La minimización de la distancia de los terrenos seleccionados para la colocación de estaciones de gas natural con respecto a los ductos (9), lo cual es proporcional al costo de instalación y abastecimiento.
- Una combinación de los puntos anteriores (10).

Por otro lado, en las restricciones se contempla lo establecido por las normas sobre la distancia mínima permitida, por cuestiones de seguridad, entre las estaciones de gas natural ((4) y (5)), escuelas (2) y hospitales (3). Así mismo, se involucra el establecimiento de un número determinado de estaciones de gas natural por habilitar (6).

III.1. Modelo

III.2. Propuesta 1

$$\max z = l \tag{1}$$

sujeto a

$$x_i e_{ij} + M(1 - x_i) \geq dmin_1 \quad \forall i \in I, \forall j \in E \quad (2)$$

$$x_i h_{ij} + M(1 - x_i) \geq dmin_2 \quad \forall i \in I, \forall j \in H \quad (3)$$

$$x_i g_{ij} + M(1 - x_i) \geq dmin_3 \quad \forall i \in I, \forall j \in G \quad (4)$$

$$x_i x_j t_{ij} + M(1 - x_i x_j) \geq dmin_3 \quad \forall i \in I, \forall j \in I, i \neq j \quad (5)$$

$$\sum_{i \in I} x_i = n \quad (6)$$

$$l \leq x_i g_{ij} + M(1 - x_i) \quad \forall i \in I, \forall j \in G \quad (7)$$

$$l \leq x_i x_j t_{ij} + M(1 - x_i x_j) \quad \forall i \in I, \forall j \in I, i \neq j \quad (8)$$

donde:

I es el conjunto de terrenos en los cuales podría establecerse una estación de gas natural

E es el conjunto de escuelas en la zona

H es el conjunto de hospitales en la zona

G es el conjunto de estaciones de gas en la zona

e_{ij} es la distancia entre el terreno i y la escuela j

h_{ij} es la distancia entre el terreno i y el hospital j

g_{ij} es la distancia entre el terreno i y la estación de gas (existente) j

t_{ij} es la distancia entre el terreno i y el terreno j

$dmin_1$ es la distancia mínima permitida de estaciones de gas natural con respecto a escuelas

$dmin_2$ es la distancia mínima permitida de estaciones de gas natural con respecto a hospitales

$dmin_3$ es la distancia mínima permitida entre estaciones de gas natural

n es el número de estaciones de gas natural requeridas para establecerse

M es un número suficientemente grande

$x_i \in \{0, 1\}$, toma el valor de 1 si se establece una nueva estación de gas

l es la distancia mínima entre cada uno de los terrenos a establecerse con respecto al resto y a las estaciones de gas natural ya establecidas

III.3. Propuesta 2

$$\min z = \sum_{i \in I} x_i d_i \quad (9)$$

sujeto a (2) hasta (6)

donde:

d_i es la distancia entre el terreno i y el ducto más cercano

III.4. Propuesta 3

$$\max z = l - \sum_{i \in I} x_i d_i \quad (10)$$

sujeto a (2) hasta (8).

IV. Experimentación y discusión de resultados

Con los valores,

$dmin_1, dmin_2 = 0.250, dmin_3 = 0.75$ y $n = 5$,

y empleando la herramienta OR-Tools para optimizar el modelo, se obtuvieron los resultados que se muestran más adelante.

Cabe señalar que, puesto que no se cuenta con información suficiente sobre la demanda de este combustible, se estableció de forma arbitraria el número de estaciones de gas natural que se desean establecer.

Además, las restricciones (5) y (8) se linealizaron de la siguiente manera:

El producto $x_i x_j$ fue sustituido por una nueva variable binaria k_{ij} , obteniendo

$$k_{ij} t_{ij} + M(1 - k_{ij}) \geq dmin_3 \quad \forall i \in I, \forall j \in I, i \neq j \quad (11)$$

$$l \leq k_{ij} t_{ij} + M(1 - k_{ij}) \quad \forall i \in I, \forall j \in I, i \neq j \quad (12)$$

y se añadieron las siguientes restricciones:

$$k_{ij} \leq x_i \quad \forall i \in I, \forall j \in I, i \neq j \quad (13)$$

$$k_{ij} \leq x_j \quad \forall i \in I, \quad \forall j \in I, \quad i \neq j \quad (14)$$

$$k_{ij} \geq x_i + x_j - 1 \quad \forall i \in I, \quad \forall j \in I, \quad i \neq j \quad (15)$$

IV.1. Propuesta 1

Para el caso de la primer propuesta, se obtuvo 4.2964Km como valor de la función objetivo, es decir, la distancia mínima entre las estaciones de gas natural por establecerse así como con las ya existentes es de 4.2964Km; claro está, respetando las restricciones de distancia de seguridad con respecto a otro tipo de establecimientos.

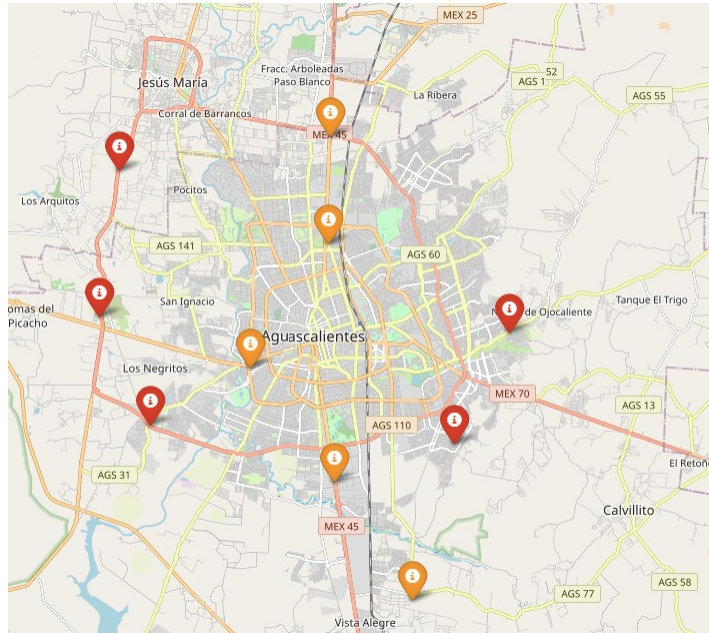


Figura 1. Resultados propuesta 1. Localización de estaciones de gas natural existentes (marcadores de color naranja) y terrenos seleccionados para establecimiento de nuevas estaciones (marcadores de color rojo)

IV.2. Propuesta 2

Con la segunda propuesta se obtuvo un valor de 0.27Km para la función objetivo, es decir, la suma de las distancias de cada uno de los terrenos seleccionados hacia el ducto más cercano es de 0.27Km, lo cual influye directamente en los costos de instalación y abastecimiento.

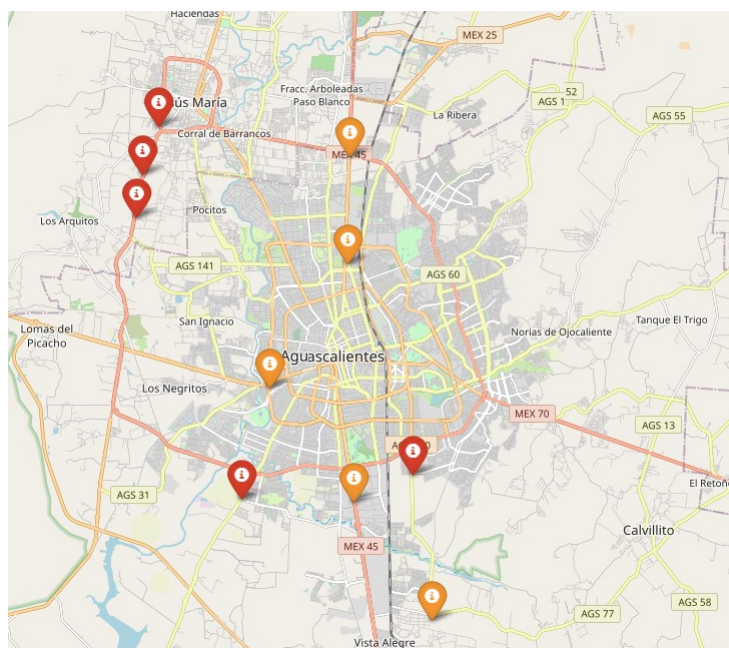


Figura 2. Resultados propuesta 2. Localización de estaciones de gas natural existentes (marcadores de color naranja) y terrenos seleccionados para establecimiento de nuevas estaciones (marcadores de color rojo)

IV.3. Propuesta 3

En este caso, por la forma en la que construyó la función objetivo (10), se maximiza la mínima distancia entre las estaciones de gas natural al mismo tiempo que se minimiza la distancia correspondiente a los ductos.

V. Conclusiones

Comparando los resultados de la propuesta 1 con la propuesta 2, si bien en este último se minimizan costos al minimizar la suma de las distancias entre el terreno y el ducto más cercano, es evidente la canibalización a la que se estarían sometiendo entre sí las estaciones ubicadas en el noroeste. Por otro lado, se tiene la diversificación en ubicaciones que provee la propuesta 1, aunque ésta no considera ahorrar en costos, a largo plazo puede generar mayores ganancias que la propuesta 2. El tomador de decisiones deberá sopesar cual criterio tiene más importancia. Analizando la propuesta 3, se aprecia que conserva las bondades de evitar la canibalización de las estaciones de gas y considerar las distancias entre los terrenos y los ductos de gas con el fin de minimizar costos. Comparado con la propuesta 1, se decanta por la propuesta 3 para dar solución al problema.

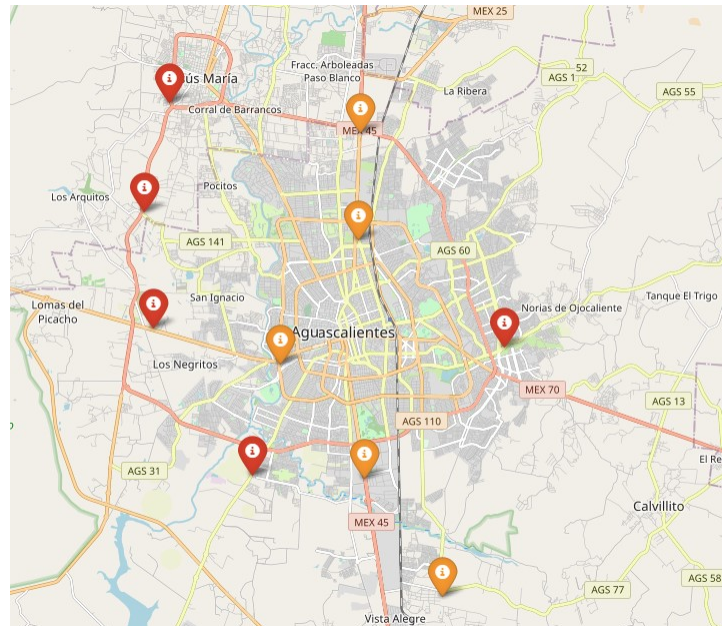


Figura 3. Resultados propuesta 3. Localización de estaciones de gas natural existentes (marcadores de color naranja) y terrenos seleccionados para establecimiento de nuevas estaciones (marcadores de color rojo)

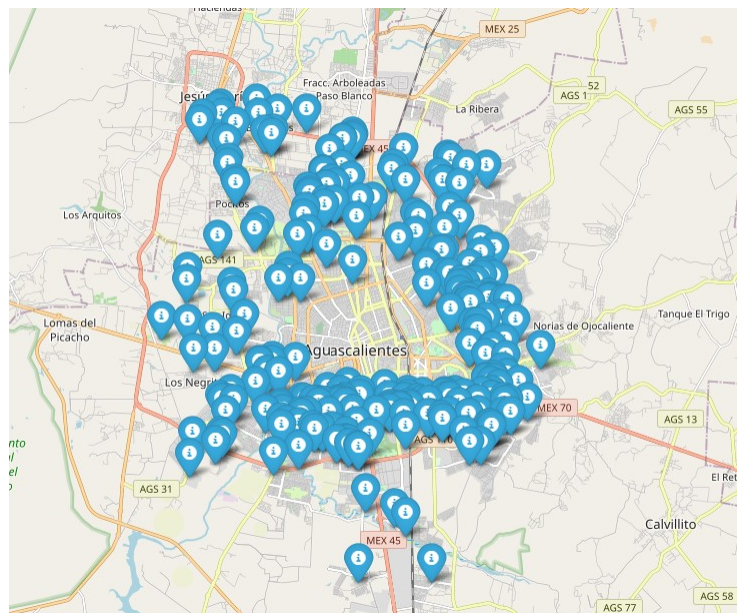


Figura 4. Localización de escuelas (marcadores de color azul).

VI. Anexo

VI.1. Mapas

VII. Bibliografía

Referencias

- [1] Wong Ontiveros, Y. L. (2020). Evaluación y determinación para localizar estaciones de servicio

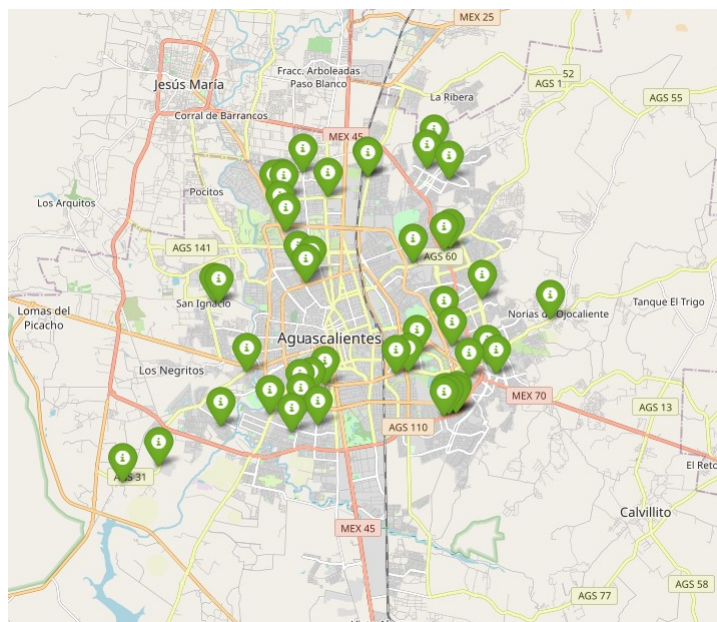


Figura 5. Localización de hospitales y centros médicos (marcadores de color verde).

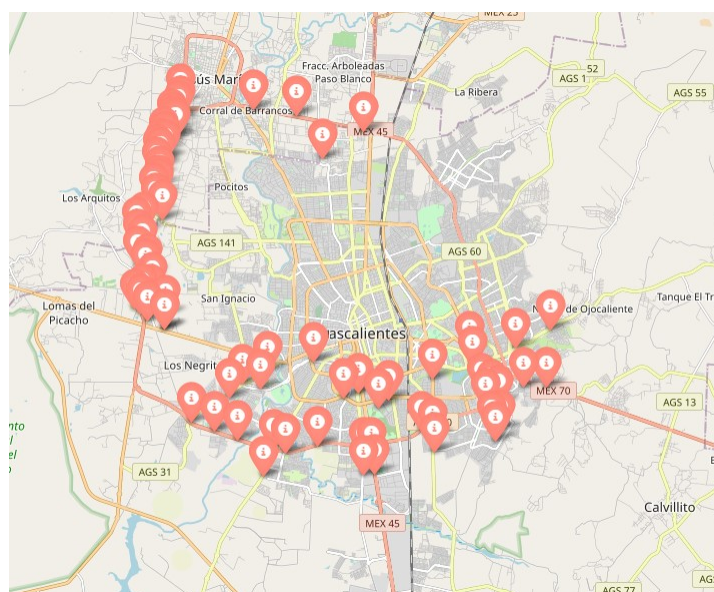


Figura 6. Localización de posibles terrenos para establecimiento de estaciones de gas natural (marcadores de color rosa).

de Gas Natural vehicular en Nuevo León (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León).

- [2] IMEPLAN Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo del Área Metropolitana de Guadalajara. Norma Técnica Metropolitana Para la Regulación de Estaciones y Ductos de Gas Natural. <https://elsalto.gob.mx/portal-api/public/transparencia/docs/1621536721639.pdf>