



Revista de Matemática: Teoría y Aplicaciones
ISSN: 1409-2433
mta.cimpa@ucr.ac.cr
Universidad de Costa Rica
Costa Rica

GARCÍA, MARIA J.; HERNÁNDEZ, GILBERTO; HERNÁNDEZ R., JOSÉ G.
UBICACIÓN DE RADIODRONEAS POLICIALES PARA LA VIGILANCIA PÚBLICA CON DOS
MODELOS MULTICRITERIO

Revista de Matemática: Teoría y Aplicaciones, vol. 21, núm. 1, enero, 2014, pp. 145-158
Universidad de Costa Rica
San José, Costa Rica

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=45331281009>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

UBICACIÓN DE RADIOPATRULLAS POLICIALES
PARA LA VIGILANCIA PÚBLICA CON DOS
MODELOS MULTICRITERIO

LOCATION OF POLICE CARS FOR PUBLIC
SURVEILLANCE USING TWO
MULTICRITERIA MODELS

MARIA J. GARCÍA* GILBERTO HERNÁNDEZ†
JOSÉ G. HERNÁNDEZ R.‡

*Received: 21/Feb/2012; Revised: 15/Jun/2013;
Accepted: 17/Jul/2013*

*Minimax Consultores. Caracas, Venezuela. E-Mail: Mariminimagarcia@yahoo.com

†Misma dirección que/*Same address as:* M. García. E-Mail: Minimaxconsultores@yahoo.com

‡Departamento Gestión de la Tecnología, Universidad Metropolitana. Caracas, Venezuela.
E-Mail: jhernandez@unimet.edu.ve

Resumen

El auge delictivo en algunas ciudades latinoamericanas obliga el incremento de patrullas y efectivos policiales. Lamentablemente no suelen haber vehículos suficientes para ubicar en todos los lugares candidatos. En la ubicación de patrullas, hay muchos parámetros a considerar, convirtiéndolo en un problema multicriterio. Dos técnicas multicriterios sencillas de usar son los Modelos Multiatributo con Factores multiplicativos (MMcFm) y las Matrices De Ponderación (MDP). Los MMcFm toman la decisión, considerando los criterios que caracterizan la situación y los atributos, que definen estos criterios. Las MDP, sólo toman en cuenta criterios. La facilidad de uso de estos dos tipos de modelos, ha inspirado el objetivo de este trabajo: Construir un par de modelos multicriterio, que en forma independiente permitan ubicar patrullas en una determinada población: Un Modelo Multiatributo con Factores multiplicativos y una Matriz De Ponderación.

Palabras clave: modelos multicriterios, modelos multiatributos con factores multiplicativos (MMcFm), matrices de ponderación (MDP), radiopatrullas, problemas sociales.

Abstract

The criminal boom in some Latin-American cities obliges the increment of patrols and policemen. Sadly they do not have sufficient vehicles to locate in all the places candidates. In the location of patrols, there are many parameters to consider, becoming a multi-criteria problem. Two multi-criteria technical simpler to use are Multiattribute Model with Multiplicative factors (MMwMf) and Matrix Of Weighing (MOW). The MMwMf making decisions, considering the criteria that characterize the situation and the attributes, that define these criteria. By the other side the MOW, only they take into account criteria. The user friendliness of these two kinds of models, has inspired the objective of this work: Creating a pair of model multi-criterion, that in independent form they permit to locate patrols in a determined population: A Multiattribute Model with Multiplicative factors (MMwMf) and a Matrix Of Weighing (MOW).

Keywords: multicriteria models, multiattribute model with multiplicative factors (MMwMf), matrix of weighing (MOW), patrols, socials problems.

Mathematics Subject Classification: 90B50, 90C29.

1 Introducción

La Investigación de Operaciones, es de gran ayuda para resolver problemas sociales. El aporte de este trabajo está centrado en ayudar a resolver un problema social: la ubicación de los vehículos automóviles que usa la policía para la vigilancia pública (patrullas), para que ofrezcan cuidado y proporcionen mayor seguridad a una población.

Por los altos índices de delincuencia, algunas ciudades latinoamericanas deben aumentar los efectivos policiales, así como los vehículos en los cuales ellos se desplazan. Lo ideal sería disponer de una patrulla en cada punto donde es necesitada, la realidad es que nunca se tendrán los vehículos suficientes, para ubicar en todos los lugares candidatos. Para escoger dónde ubicar una patrulla, hay un gran número de parámetros a considerar, lo que convierte al problema de colocar las patrullas en un problema multicriterio. Dos de las técnicas multicriterios más sencillas de usar son los Modelos Multiatributo con Factores multiplicativos (MMcFm) y las Matrices De Ponderación (MDP).

La facilidad de implementar este par de técnicas, genera el objetivo del trabajo: Construir un par de modelos multicriterio, que en forma independiente permitan ubicar patrullas en una determinada población: Un Modelo Multiatributo con Factores multiplicativos y una Matriz De Ponderación.

Para alcanzar este objetivo, se usará la Metodología Integradora-Adaptable para desarrollar Sistemas de Apoyo a las Decisiones (MIASAD), que indirectamente se expone en [7], la cual aborda los problemas de toma decisiones sin pasar por el planteamiento de hipótesis, sino, que las sustituye por alternativas de solución a través de un conjunto de pasos, los cuales dada la flexibilidad de MIASAD pueden ser adaptados a cada situación, en particular, para este trabajo se usarán: a) definir el problema, tal como se enuncia en el objetivo, construir un par de modelos multicriterio, que faciliten el ubicar patrullas; b) buscar datos, en particular sobre Modelos Multiatributos (MM) y Matrices De Ponderación (MDP), así como ubicación de vehículos de emergencia; c) definir alternativas, que consiste en visualizar en qué forma se pueden expresar los dos modelos para ubicar patrullas; d) evaluar las alternativas, ver la factibilidad de las alternativas propuestas de acuerdo a los objetivos establecidos; e) seleccionar la mejor alternativa, de acuerdo a los objetivos secundarios, tácitos o explícitos que se hayan contemplado; f) implementar la alternativa escogida, es decir establecer todos los mecanismos que permitan que la alternativa escogida pueda llevarse a la práctica y g) establece controles o mecanismos que permitan reconocer que la alternativa escogida sigue siendo válida en el tiempo.

En cuanto al alcance del trabajo, no se harán estudios de campo, sino que se estudiará la ubicación de las patrullas de una población real, pero bajo una situación hipotética, para darle mayor generalidad al estudio.

2 Las matrices de ponderación y los modelos multiatributos con factores multiplicativos

Las Matrices De Ponderación (MDP) han sido presentadas en varias ocasiones [6], [9], e igualmente los Modelos Multiatributo con factores multiplicativos (MMcFm), también han sido expuestos en varios trabajos [6], [8]. Por lo cual, para ambos tipos de modelos sólo se harán unos breves comentarios.

2.1 Breves comentarios de las matrices de ponderación

Las Matrices De Ponderación (MDP), son simplemente un arreglo de filas y columnas, el cual es usado para valorar alternativas a través de un conjunto de criterios ponderados. Las MDP son sumamente utilizadas, incluso en versiones no del todo formales de las mismas, pero están poco referenciadas en la literatura especializada, de allí que [6] comenten que de ellas sólo se tienen referencias indirectas por trabajos con matrices similares o equivalentes [1], [4], [10] y [12]. Ellos [6], aclaran que, en general, en las filas se colocan las alternativas y en las columnas los criterios. Cada criterio tiene una escala de valoración y a cada alternativa se le asigna un valor de acuerdo al cumplimiento que alcance del respectivo criterio. Para cada alternativa las valoraciones parciales se suman, para obtener el valor final de la alternativa. Como los problemas multicriterios suelen ser problemas de maximización, se toma como mejor, la alternativa de mayor puntuación. La escala de cada criterio va desde PC_{ji} a PC_{jf} , donde el subíndice i representa el valor inicial y el subíndice f el valor final [9].

La manera de definir los rangos y los valores fijos de multiplicación (v_j), permiten diferenciar distintas variantes de las MDP [6]; [9], acá por razones de espacio no se comentarán y sólo se presentarán las ecuaciones que rigen a las MDP. En la ecuación (1), donde se calculan los puntos totales obtenidos por una alternativa (Total A_k), se reflejan los valores multiplicativos (v_j) y los $P_{k,j}$, que son las valoraciones de la alternativa k para cada uno de los criterios j , y donde n representa el número de criterios:

$$\text{Total}A_k = \sum_{j=1,n} v_j \times P_{k,j}. \quad (1)$$

La ecuación (2) refleja el caso cuando estos valores multiplicativos, son menores a uno y su suma debe ser igual a la unidad,

$$1 = \sum_{j=1,n} v_j. \quad (2)$$

Además de los diferentes tipos y de los modelos no del todo formales de las MDP, existen otros casos, como son las MDP de múltiples capas, la resolución de las MDP, siguiendo los principios de alternativas dominadas y soluciones de MDP a través de grupos de decisión, los cuales no serán discutidos por razones de espacio. También se pueden manejar las MDP haciendo uso de los factores multiplicativos generales (fgh) [9], que transforman la ecuación (1) en la ecuación (3). Estos factores se presentarán cuando se comenten los Modelos Multiatributo con factores multiplicativos.

$$TotalA_k = \prod_{h=1,H} fgh \times \sum_{j=1,n} v_j \times P_{k,j}. \quad (3)$$

En (3) el producto de los fgh , va desde 1 hasta H , con H el total de ellos.

2.2 Breves comentarios de los modelos multiatributo con factores multiplicativos

Los Modelos Multiatributo con factores multiplicativos (MMcFm) tal como se presentan en [6], basados principalmente en los conceptos de [2], [5] y [11], pero particularmente siguiendo a [3], se definirán como aquellos modelos que están diseñados para obtener la utilidad de alternativas a través de los atributos valiosos, que deben ser evaluados como componentes de los criterios. En todo caso el resultado final, tal como se expresa en la ecuación (4), será un modelo aditivo [6], [8]:

$$Pts = \sum_i pc_i \times (\sum_j pa_j c_i \times va_j c_i), \quad (4)$$

donde el subíndice i representa el criterio y el subíndice j el atributo, por lo tanto pc_i será el puntaje asignado al criterio i , $pa_j c_i$ será el puntaje al atributo j del criterio i , $va_j c_i$ corresponderá al valor asignado al atributo j del criterio i , y Pts será el valor total alcanzado por la variable en estudio.

De su definición y su manera de operar, para un MMcFm, sólo se necesitan: criterios, atributos y un mecanismo de valoración de los mismos. Sin embargo, lo que es su mayor fortaleza, la aditividad, que los hace muy sencillos de operar, se convierte en su principal debilidad. Esta debilidad, consecuencia de la aditividad, que se manifiesta cuando hay distintas escalas de evaluación, o valores

en rangos muy distantes, puede ser corregida, como se ve en la ecuación (5) a través de los factores multiplicativos [6], los cuales transforman el modelo en:

$$Pts = \prod_k f_{gk} \times \left(\sum_i f_i \times pc_i \times \left(\sum_j pa_j c_i \times va_j c_i \right) \right). \quad (5)$$

Que mantiene todas las variables de (4), además del uso de los factores multiplicativos f_{gk} y f_i , donde k contabiliza el número de factores de corrección, que operan para todo el modelo, los cuales serán llamados factores generales, los f_{gk} , y los f_i representaría el producto de los factores de corrección que operan para el criterio i . Para tener una ecuación que refleje mejor la realidad de los factores multiplicativos de los criterios, cuando sean más de uno, aunque, igual que para los factores generales, nunca se recomienda que sean más de tres, en lugar de (5) es preferible usar la (6):

$$Pts = \prod_k f_{gk} \times \left(\sum_i \prod_h f_{ih} \times pc_i \times \left(\sum_j pa_j c_i \times va_j c_i \right) \right), \quad (6)$$

que mantiene la nomenclatura de las ecuaciones (4) y (5), donde h será el contador de los factores de cada uno de los criterios.

De lo anterior, (6) pasa a ser la expresión general, pudiéndose usar (5) si para cada uno de los criterios, a lo sumo sólo hay un factor multiplicativo y (4) en caso de no haber factores multiplicativos de los criterios ni factores multiplicativos generales. Este concepto de factores multiplicativos, se usará en la ubicación de patrullas, tanto en el modelo basado en MDP como en el modelo basado en MMcFm.

3 Ubicación de patrullas

Los parámetros a considerar para la ubicación de cualquier tipo de vehículos para atender emergencias, suelen ser muy similares. Y en el caso particular, para ubicar patrullas, siguiendo a [8], pero simplificándolos para que puedan ser igualmente útiles para los MMcFm, tanto como por las MDP, se usarán: Condiciones de la vía (Cvia), Velocidad media que pueden desarrollar las patrullas (VmPa), Volumen del tráfico (VoTr), Distancia promedio a las vías principales (DiPr), Población (Pobl) (se tomará toda la población, sin discriminar entre flotante y fija), Espacio para aparcamiento (EsAp), Delitos mayores (DeMa) y Delitos menores (DeMe).

| Rango de DeMa, por encima, a la media delictiva | Puntos. % del total | Rango de DeMa, por debajo, a la media delictiva | Puntos. % del total |
|---|------------------------|---|------------------------|
| DeMa > 20% | 91 a 100 (EXE) | 0% < DeMa ≤ 5% | 41 a 50 (REG) |
| 15% < DeMa ≤ 20% | 81 a 90 (MBU) | 5% < DeMa ≤ 10% | 31 a 40 (DDR) |
| 10% < DeMa ≤ 15% | 71 a 80 (MQB) | 10% < DeMa ≤ 15% | 21 a 30 (MQM) |
| 5% < DeMa ≤ 10% | 61 a 70 (BUE) | 15% < DeMa ≤ 20% | 11 a 20 (MAL) |
| 0% < DeMa ≤ 5% | 51 a 60 (MQR) | DeMa > 20% | 1 a 10 (MMA) |

Tabla 1: Valoración de delitos mayores (DeMa).

Para la evaluación de cada uno de estos parámetros, se establecerán reglas generales que puedan ser útiles a los dos modelos. A manera de ejemplo se muestra el caso para DeMa. En la Tabla 1 se define un rango porcentual de acuerdo a las características del parámetro medido.

Para las Tablas 1 y 2, las características a considerar son: Excelente (EXE); Muy buena (MBU); Más que buena (MQB); Buena (BUE); Más que regular (MQR); Regular (REG); Debajo de regular (DDR); Mejor que mala (MQM); Mala (MAL); Muy mala (MMA). Con este rango se evaluará cada alternativa para los dos modelos a usar. En la Tabla 2 se presentan las características de los quince lugares disponibles (LD_i) donde *i* identifica cada lugar en el cual se puede ubicar una patrulla.

| | Parámetros a considerar | | | | | | | |
|------------------|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Cvia | VmPr | VoTr | DiPr | Pobl | EsAp | DeMa | DeMe |
| LD ₀₁ | EXC | MBU | EXC | EXC | EXC | EXC | EXC | EXC |
| LD ₀₂ | EXC | MBU | MBU | EXC | EXC | MQB | MQB | MBU |
| LD ₀₃ | MBU | MBU | EXC | REG | MBU | MQR | MQB | MQB |
| LD ₀₄ | MBU | MQB | MQR | DDR | MQB | REG | BUE | BUE |
| LD ₀₅ | MBU | MQB | EXC | DDR | BUE | MMA | BUE | MQB |
| LD ₀₆ | MQB | MBU | MBU | REG | MQB | MQM | MQR | MQR |
| LD ₀₇ | MQB | BUE | EXC | MQM | DDR | DDR | MQR | MQB |
| LD ₀₈ | MQB | BUE | EXC | MQM | MQM | MBU | DDR | DDR |
| LD ₀₉ | MQB | MBU | EXC | EXC | MBU | MBU | MBU | MAL |
| LD ₁₀ | BUE | MQB | MBU | DDR | MAL | MQR | DDR | MQM |
| LD ₁₁ | BUE | BUE | MBU | MBU | MQB | BUE | MQM | MMA |
| LD ₁₂ | BUE | MQR | MQR | MQB | MBU | DDR | BUE | MQM |
| LD ₁₃ | BUE | MBU | DDR | EXC | EXC | MBU | MBU | MAL |
| LD ₁₄ | BUE | MQB | DDR | MBU | MBU | REG | REG | MQM |
| LD ₁₅ | MQR | MBU | DDR | MAL | MMA | REG | DDR | DDR |

Tabla 2: Caracterización de los quince lugares disponibles.

| Criterios | Pesos criterios | Atributos | Pesos atributos |
|--------------------|-----------------|---|-------------------|
| Relativo a la ruta | 30% | Condiciones de la vía Velocidad promedio Volumen de tráfico | 15% 35% 50% |
| Distancia | 5% | Distancia a la vía principal | 100% |
| Población | 20% | Población total a ser atendida | 100% |
| Espacio | 10% | Espacio para aparcar la patrulla | 100% |
| Índices de delitos | 35% | Delitos mayores Delitos menores | 55% 45% |

Tabla 3: Criterios y atributos para el MMcFm.

En el caso del MMcFm, en la Tabla 3, se presentan los criterios usados y sus atributos, así como los pesos, tanto de los criterios, como de los atributos. En la Figura 1, se puede ver la valoración de los cuatro primeros lugares a través de MMcFm y se ve la escala de valoración que es del 1 al 10. Para la MDP, se presentará la valoración de los cinco primeros lugares en la Tabla 4, donde a la vez se señalará el peso que se le está otorgando a cada criterio.

| | Peso | Parámetros a considerar | | | | | | | |
|---------------------------|-----------|-------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|
| | | Cvia | VmPr | VoTr | DiPr | Pobl | EsAp | DeMa | DeMe |
| Alternativas (A_k) | 1 - 10 | 1 - 20 | 1 - 25 | 1 - 10 | 1 - 40 | 1 - 30 | 1 - 50 | 1 - 40 | |
| | LD_{01} | 10 | 18 | 25 | 10 | 40 | 30 | 50 | 40 |
| | LD_{02} | 10 | 17 | 22 | 10 | 39 | 24 | 40 | 36 |
| | LD_{03} | 9 | 17 | 24 | 05 | 36 | 18 | 40 | 32 |
| | LD_{04} | 9 | 16 | 15 | 04 | 32 | 15 | 35 | 26 |
| | LD_{05} | 9 | 15 | 25 | 04 | 28 | 03 | 35 | 30 |

Tabla 4: Valoraciones a través de una MDP.

En la Tabla 5, se presenta el resumen del puntaje alcanzado por cada LDi, siguiendo el MMcFm, los términos cercanía- i , DUP y DTM, que allí aparecen se aclararán más adelante. La Tabla 6, muestra el resumen de los valores conseguido usando la MDP, en este caso, se han normalizado en una escala 1 a 10, para facilitar su comparación con los resultados del MMcFm. En las Tablas 5 y 6 separados por un guion, además, se señala la posición que ocupa cada LDi, entre los quince disponibles.

De las Tablas 5 y 6 se puede observar que los dos modelos generan prácticamente los mismos resultados, con pequeños cambios en las posiciones 6, 7 y 8 y la 12 y 13. Por otra parte en la Tabla 7, se muestran las distancias entre cada una de las localidades. Se notará que la Tabla 7 no es simétrica en su totalidad, ya

| | LD_{01} | LD_{02} | LD_{03} | LD_{04} | LD_{05} | LD_{06} | LD_{07} | LD_{08} |
|-----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Pts | 9.9-01 | 9.0-02 | 8.3-03 | 6.9-08 | 7.1-06 | 6.9-07 | 6.4-09 | 5.7-13 |
| | LD_{09} | LD_{10} | LD_{11} | LD_{12} | LD_{13} | LD_{14} | LD_{15} | |
| Pts | 8.3-04 | 5.0-14 | 5.9-12 | 6.3-10 | 7.3-05 | 5.9-11 | 4.0-15 | |

Tabla 5: Resumen de los resultados usando el MMcfm.

| | LD_{01} | LD_{02} | LD_{03} | LD_{04} | LD_{05} | LD_{06} | LD_{07} | LD_{08} |
|-----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Pts | 9.9-01 | 8.8-02 | 8.0-03 | 6.8-06 | 6.6-07 | 6.5-08 | 6.2-09 | 5.4-12 |
| | LD_{09} | LD_{10} | LD_{11} | LD_{12} | LD_{13} | LD_{14} | LD_{15} | |
| Pts | 8.0-04 | 4.6-14 | 5.4-13 | 5.8-10 | 7.3-05 | 5.6-11 | 3.8-15 | |

Tabla 6: Resumen de los resultados usando la MDP.

que para algunas localidades no existe comunicación directa en los dos sentidos. De los resultados de las Tablas 5 y 6, se ve que las primeras patrullas se deberían colocar en las primeras posiciones (LD_{01} , LD_{02}), sin embargo en la Tabla 7, se ve que son localidades cercanas y que una patrulla en una de ellas, le prestaría servicio a la otra.

Por esta razón se creó el factor multiplicativo cercanía- i , que se ve al final de la Figura 1, pero que será usado para los dos modelos, como un factor multiplicativo general.

| | LD_{01} | LD_{02} | LD_{03} | LD_{04} | LD_{05} | LD_{06} | LD_{07} | LD_{08} | LD_{09} | LD_{10} | LD_{11} | LD_{12} | LD_{13} | LD_{14} | LD_{15} |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| LD_{01} | 0 | 3 | 3 | 4 | 6 | 6 | 7 | 8 | 10 | 10 | 8 | 8 | 6 | 6 | 12 |
| LD_{02} | 3 | 0 | 3 | 2 | 6 | 5 | 6 | 8 | 9 | 9 | 7 | 9 | 3 | 7 | 11 |
| LD_{03} | 3 | 3 | 0 | 2 | 4 | 5 | 5 | 6 | 7 | 7 | 7 | 5 | 6 | 2 | 11 |
| LD_{04} | 4 | 2 | 2 | 0 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 6 | 6 | 5 | 4 | 3 | 10 |
| LD_{05} | 6 | 6 | 4 | 2 | 0 | 3 | 2 | 2 | 4 | 5 | 5 | 2 | 7 | 3 | 8 |
| LD_{06} | 6 | 5 | 5 | 3 | 3 | 0 | 2 | 5 | 5 | 4 | 3 | 7 | 2 | 6 | 8 |
| LD_{07} | 7 | 6 | 5 | 4 | 2 | 2 | 0 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 6 | 6 | 7 |
| LD_{08} | 8 | 8 | 6 | 5 | 2 | 5 | 3 | 0 | 2 | 4 | 6 | 2 | 8 | 4 | 4 |
| LD_{09} | 10 | 9 | 7 | 6 | 4 | 5 | 3 | 2 | 0 | 2 | 5 | 4 | 7 | 6 | 2 |
| LD_{10} | 10 | 9 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 4 | 2 | 0 | 2 | 6 | 6 | 7 | 2 |
| LD_{11} | 8 | 7 | 7 | 6 | 5 | 3 | 4 | 6 | 5 | 2 | 0 | 7 | 4 | 7 | 5 |
| LD_{12} | 8 | 9 | 5 | 5 | 2 | 7 | 4 | 2 | 4 | 6 | 7 | 0 | 7 | 3 | 6 |
| LD_{13} | 8 | 5 | 8 | 7 | 9 | 2 | 8 | 10 | 9 | 8 | 5 | 9 | 0 | 6 | 7 |
| LD_{14} | 8 | 9 | 4 | 4 | 4 | 8 | 8 | 6 | 8 | 9 | 8 | 3 | 9 | 0 | 7 |
| LD_{15} | 12 | 11 | 11 | 10 | 8 | 8 | 7 | 4 | 2 | 2 | 5 | 6 | 7 | 8 | 0 |

Tabla 7: Distancia entre los distintos lugares disponibles (en km.)

| Criterios | P | Atributos | P | LD01 | LD02 | LD03 | LD04 |
|--|-------|---|----------------------|---------------|----------------------|--------------|----------------------|
| R elativo a la ruta | 0,300 | Condiciones de la vía Velocidad promedio Volumen de tráfico | 0,15 0,35 0,50 | 10 9 10 | 1,50 3,15 5,00 | 10 9 9 | 1,35 3,15 5,00 |
| (f ₁) | | | 1,00 | 2,90 | 1,00 | 2,75 | 1,00 |
| D istancia | 0,050 | Distancia a la vía principal | 1,00 | 10 | 10,00 | 10 | 10 |
| (f ₂) | | | 1,00 | 0,50 | 1,00 | 0,50 | 1,00 |
| P ob�acióн | 0,200 | Población total a ser atendida | 1,00 | 10 | 10,00 | 10 | 10 |
| (f ₃) | | | 1,00 | 2,00 | 1,00 | 2,00 | 1,00 |
| E espacio | 0,100 | Espacio para aparcar la patrulla | 1,00 | 10 | 10,00 | 8 | 8 |
| (f ₄) | | | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,80 | 1,00 |
| I ndices de delitos | 0,350 | Delitos mayores Delitos menores | 0,55 0,45 | 10 10 | 5,50 4,50 | 8 9 | 4,40 4,05 |
| (f ₅) | | | 1,00 | 3,50 | 1,00 | 2,98 | 1,00 |
| C cercanía-i (fg 1) | | | 1,00 | 9,90 | 1,00 | 9,00 | 1,00 |
| (fg 2) | | | 1,00 | 9,90 | 1,00 | 9,00 | 1,00 |
| (fg 3) | | | 1,00 | 9,90 | 1,00 | 9,00 | 1,00 |
| Cercanía-i = Min{cercanía-i, 1, DUP / DTM} | | | | | | | |
| LD01 = 9,895 | | | | | | | |
| LD02 = 9,003 | | | | | | | |
| LD03 = 8,300 | | | | | | | |
| LD04 = 6,895 | | | | | | | |
| Pts. = | | | | | | | |

Figura 1: Resultados para las tres primeras localidades según el MMcFM.

| | LD_{01} | LD_{02} | LD_{03} | LD_{04} | LD_{05} | LD_{06} | LD_{07} | LD_{08} |
|-----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Pts | 0 | 0.50 | 0.50 | 0.67 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| | LD_{09} | LD_{10} | LD_{11} | LD_{12} | LD_{13} | LD_{14} | LD_{15} | |
| Pts | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | |

Tabla 8: Cercanía- i ($C - i$), después de ubicar la primera patrulla en LD01.

| | LD_{01} | LD_{02} | LD_{03} | LD_{04} | LD_{05} | LD_{06} | LD_{07} | LD_{08} |
|-----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Pts | 0.0-15 | 4.5-12 | 4.2-13 | 4.6-11 | 7.1-03 | 6.9-04 | 6.4-05 | 5.7-09 |
| | LD_{09} | LD_{10} | LD_{11} | LD_{12} | LD_{13} | LD_{14} | LD_{15} | |
| Pts | 8.3-01 | 5.0-10 | 5.9-08 | 6.3-06 | 7.3-02 | 5.9-07 | 4.0-14 | |

Tabla 9: Puntos (Pts.) al aplicar el factor multiplicativo usando el MMcFm.

Cercanía- i mide lo cercano que resulta el lugar disponible i , con respecto a la última patrulla ubicada. Se inicia con cercanía- i igual a 1, para todos los lugares.

Al asignar la primera patrulla, cercanía- i se calculará como: cercanía- i = Mínimo cercanía- i , DUP / DTM, donde DUP será la distancia desde la última patrulla asignada al lugar i y DTM, será la distancia total media, en este caso como la mayor distancia está entre LD01 y LD15 y es igual a 12, esta DTM será igual a 6. En la Tabla 8, se expresan la cercanía- i para todos los lugares disponibles, después de haber ubicado la primera patrulla en el LD01.

Al multiplicar cada uno de los lugares disponibles por este factor multiplicativo, los nuevos puntajes son los reflejados en las Tablas 9 y 10, donde se puede ver que la próxima patrulla no se debe ubicar en el LD02, sino que debe ir al LD09, ahora en la primera posición.

De tener otras patrullas por asignar, se repetiría, a partir de LD09, el cálculo de cercanía- i y así sucesivamente hasta colocar todas las patrullas.

| | LD_{01} | LD_{02} | LD_{03} | LD_{04} | LD_{05} | LD_{06} | LD_{07} | LD_{08} |
|-----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Pts | 0.0-15 | 4.4-12 | 4.0-13 | 4.5-11 | 6.6-03 | 6.5-04 | 6.2-05 | 5.4-08 |
| | LD_{09} | LD_{10} | LD_{11} | LD_{12} | LD_{13} | LD_{14} | LD_{15} | |
| Pts | 8.0-01 | 4.6-10 | 5.4-09 | 5.8-06 | 7.3-02 | 5.6-07 | 3.8-14 | |

Tabla 10: Puntos (Pts.) al aplicar el factor multiplicativo usando la MDP.

3.1 Comentarios relativos a los dos modelos

En teoría, al ser un poco más completos, al manejar criterios y atributos, los Modelos Multiatributo con factores multiplicativos (MMcFm), deberían proporcionar resultados más confiables que las Matrices De Ponderación (MDP), sin embargo, como se puede ver en las Tablas 5 y 6 y sobre todo en las Tablas 9 y 10, los resultados son muy parecidos, por lo cual, no se puede hacer ninguna afirmación acerca de la mayor confiabilidad de un modelo frente a otro. Demostrados los dos modelos, se pasará a presentar algunas conclusiones generales.

4 Conclusiones y recomendaciones

La primera conclusión va orientada a las simplicidades de uso y de implementación de las dos técnicas multicriterio usadas en este trabajo. Tanto las Matrices De Ponderación (MDP), como los Modelos Multiatributo con factores multiplicativos (MMcFm) generan modelos aditivos muy fáciles de elaborar y de obtener resultados a través de ellos. Aunque para ambos se usan los factores multiplicativos, que los convierten en modelos multiplicativos y le dan mayor amplitud, no comprometen su facilidad de implementación.

La importancia de estos factores multiplicativos, se pudo ver en este trabajo, donde haciendo uso del factor multiplicativo general, cercanía-*i*, se pudo hacer una mejor asignación de las restantes patrullas, después de haber decidido donde ubicar la primera de ellas. En general estos factores multiplicativos son fáciles de construir, como fue el caso de cercanía-*i*, que se basó en parámetros de distancias, que eran datos que se poseían.

Otra conclusión que se puede obtener es que no hay diferencias notorias, entre el par de modelos usados, para resolver el problema de asignación de patrullas. Tal como se pudo observar, prácticamente ofrecen los mismos resultados y se puede señalar que casi con el mismo nivel de dificultad, ya que ambos se pueden manejar con respectivas hojas Excel, de una gran sencillez.

Una última conclusión es relativa al uso de este par de modelos las MDP y los MMcFm, para atacar problemas de índole social, ya que sin mayores conocimientos matemáticos y de investigación de operaciones, se pueden usar para ayudar a tener una mejor visión de cualquier problema social, que involucre decisiones multicriterios.

Para cerrar, se recomienda continuar las investigaciones acerca de la aplicación de estos modelos, las MDP y los MMcFm, tanto para resolver problemas sociales, como para resolver problemas empresariales. Igualmente se recomienda buscar otras aplicaciones en el mundo real, que lleven a decisiones multicriterios donde se puedan usar estos modelos.

Agradecimientos

Este trabajo no hubiese sido posible sin el apoyo brindado por la Universidad Metropolitana, en especial el Decanato de Investigación y Desarrollo, y el Decanato de Ingeniería, a través del departamento Gestión de la Tecnología, y el apoyo de Minimax Consultores, C.A., a través de su Gerencia de Investigación.

Referencias

- [1] Baca, G. (1995) *Evaluación de Proyectos*, 3ra Edición. McGraw-Hill, México D.F., México.
- [2] Ben-Mena, S. (2000) “Introduction aux méthodes multicritères d'aide à la décision”, *Biotechnol. Agron. Soc. Environ* **4**: 83–93.
- [3] Baucells, M.; Sarin, R. (2003) “Group decisions with multiple criteria”, *Management Science* **49**(8): 1105–1118.
- [4] EMS (Environmental Management Systems) (1997) “Project evaluation matrix”, 1–44.
- [5] Ehrgott, M.; Gandibleux, X. (2002) *Multiple Criteria Optimization: State of the Art. Annotated Bibliographic Surveys*. Kluwer Academic Publishers, Norwell MA, U.S.A.
- [6] García, M.J.; Hernández, J.G. (2011) “Multiattribute model with multiplicative factors and matrixes of weighing and the problem of the potable water”, in: R. Espín, J.M. Marx-Gómez & A. Racet (Eds.) *Towards a Trans-disciplinary Technology for Business Intelligence, Gathering Knowledge Discovery, Knowledge Management and Decision Making*. Shaker, Aachen, Germany: 364–374.
- [7] García, M.J.; Hernández, J.G.; Hernández, G.J. (2011) “Los dígitos decrecientes y el modelo A, B, C: una propuesta para el manejo de poblaciones en albergues”, *Revista de Matemática: Teoría y Aplicaciones* **18**(1): 163–175.
- [8] Hernández, J.G.; De Burgos, J.J.; García, M.J.; Velásquez, Y.M. (2005) “Locating of emergency vehicles”, Document presented in *VALIO/EURO Conference on Combinatorial Optimization*, École Nationale Supérieure des Télécommunications (ENST), Paris, France.

- [9] Hernández, J.G.; García, M.J.; Hernández, G.J. (2011) “Matrixes of weighing and catastrophes”, *International Journal of Distributed Systems and Technologies* **2**(1): 14–28.
- [10] Prasad B. (1995) “JIT quality matrices for strategic planning and implementation”, *International Journal of Operations and Production Management* **15**(9): 116–142.
- [11] Roy, B.; Vincke, P. (1981) “Multicriteria analysis: survey and new directions”, *European Journal of Operational Research* **8**(3): 207–218.
- [12] Shen, S.; O’Hare, G.M.P. (2004) “Agent-based resource selection for grid computing”, *International Workshop on Agents and Autonomic Computing and Grid Enabled Virtual Organizations* (4): 658–672.