

# DISEÑO DEL INTERIOR DEL HABITÁCULO ASISTENCIAL DE UNA UVI MÓVIL USANDO TÉCNICAS DE OPTIMIZACIÓN BASADAS EN PROGRAMACIÓN LINEAL

## MEDICALISED AMBULANCE INTERIOR DESIGN USING LINEAR PROGRAMMING OPTIMISATION TECHNIQUES

Francisco Javier Sánchez Alejo  
Doctor Ingeniero Industrial  
Universidad Politécnica  
de Madrid Racing

Jose Maria López Martínez,  
Doctor Ingeniero Industrial  
Instituto Universitario de  
Investigación del Automóvil

Francisco Javier Páez Ayuso,  
Doctor Ingeniero Industrial  
Instituto Universitario de  
Investigación del Automóvil

Jose Luis Fernández Sánchez  
Doctor Ingeniero Industrial  
Universidad Politécnica  
de Madrid

Recibido: 25/01/08  
Aceptado: 14/04/08

### RESUMEN

El diseño del interior del habitáculo asistencial de las UVI's móviles destinadas a proporcionar soporte vital avanzado, es una tarea compleja que vienen realizando distintos carroceros gracias a su experiencia y a las sugerencias de mejora realizadas por los sanitarios que trabajan en ellos.

La razón principal de esta dificultad está en el hecho de que un cierto equipo será utilizado por un sanitario u otro en función del tipo de intervención. Así, es frecuente que las manos de los sanitarios se crucen en algunas intervenciones por necesitar coger simultáneamente materiales o equipos alejados de ellos y próximos a otros.

El presente artículo plantea el caso real del diseño de las UVI's móvi-

les del SUMMA 112, en donde todos los materiales y equipos se han ubicado para optimizar la ejecución de las intervenciones más críticas y más frecuentes.

**Palabras Clave:** Ambulancia, UVI, Ingeniería de Diseño, Programación lineal.

### ABSTRACT

*The design of patient care space in life support ambulances or ICU vehicles is a complex activity; carried out by bodybuilders thanks to their knowhow and suggestions from medical personnel who work in them.*

*The main reason for this complexity lies in the fact a particular item of equipment will be used by different*

*personnel depending on the intervention in question. So, frequently workers' hands interfere with each other while performing some actions because they simultaneously require materials far from them yet close to others.*

*This article shows the real case of the patient care space design of the SUMMA 112 ICU vehicles, where all the medical-health materials and equipment have been located to optimise performance in the most critical and frequent operations.*

**Key words:** Ambulance, ICU, Engineering design, Linear programming.

### 1.- INTRODUCCIÓN

El presente trabajo trata del proyecto de mejora del diseño del habitáculo asistencial de las UVI móviles (unidades móviles de soporte vital avanzado para la atención a las emergencias sanitarias) del Servicio de Urgencias Médicas de la Comunidad de Madrid (SUMMA 112). El trabajo fue realizado en la Universidad Politécnica de Madrid.

## Para la fabricación de una ambulancia se parte de una furgoneta de serie, similar a las empleadas para el reparto de mercancías

El *SUMMA 112* asume la atención sanitaria de las urgencias y emergencias que tienen lugar en todo el ámbito de la *Comunidad de Madrid*, cubriendo una extensión de 8.028 kilómetros cuadrados y una población de unos 6 millones de habitantes. Concretamente, para la atención a las emergencias (urgencia vital) dispone de tres dispositivos asistenciales: el que incluye a las unidades VIR (Vehículos de Intervención Rápida), los HS (Helicópteros Sanitarios.) y las ya comentadas UVI (desplegadas por toda la *Comunidad de Madrid*).

El *SUMMA 112* contaba en el momento de realizar el proyecto con 23 UVI para prestar atención a las emergencias sanitarias más graves, las cuales venían siendo criticadas por los sanitarios debido a algunas deficiencias que presentaban.

Para tratar de solventar en lo posible los problemas y quejas existentes, se creó una comisión encargada de identificar las principales necesidades de mejora de las UVI móviles. Este equipo, denominado "grupo de carrozado" se constituyó con carácter multidisciplinar, y estaba formado por al menos un representante de los diferentes colectivos relacionados con el servicio de estos vehículos, es decir, médicos, enfermeros, celadores, conductores, profesionales del servicio de farmacia, etc.

Ante la necesaria renovación y unificación de UVI que se planteaba realizar, se encargó al equipo de la UPM coordinar y liderar las acciones de atención a las deficiencias denunciadas, apuntar las mejoras propuestas por los trabajadores y diseñar un

nuevo habitáculo asistencial que, mejorando los modelos anteriores, diera respuesta adecuada a las necesidades planteadas, como puede ser la incorporación de nuevo equipamiento, la optimización de procesos asistenciales, la mejora de la ergonomía interior, así como la seguridad, salud e higiene de los sanitarios que trabajan en su interior.

El resultado del trabajo ha servido como base del pliego de condiciones del concurso público de equipamiento médico, en el que se planteaba la adquisición de 32 nuevos vehículos de estas características que darán soporte a la actividad de 25 unidades operativas las 24 horas, los 365 días del año, con el apoyo de 8 unidades de retén (33% de unidades de retén).

En este artículo se recoge parte del trabajo realizado, el relativo al diseño del habitáculo asistencial, y a la ubicación de los materiales y equipos médico – sanitario dentro del mismo, para lo que se ha formulado y explotado un modelo de programación lineal.

### 2.- EL TRANSPORTE SANITARIO Y LOS VEHÍCULOS EMPLEADOS

El transporte sanitario es aquél que se realiza para el desplazamiento de personas enfermas, accidentadas o por otra razón sanitaria, en vehículos especialmente acondicionados al efecto.

En función de su destino, las ambulancias pueden dividirse en no asistenciales (destinadas únicamente al traslado de enfermos en camilla) y asistenciales (que permiten asistencia técnica sanitaria en ruta). Las asis-

tenciales se dividen, a su vez, en ambulancias sin personal facultativo (destinadas a proporcionar soporte vital básico) y con personal facultativo o medicalizadas (destinadas a proporcionar soporte vital avanzado).

Son estas últimas las denominadas UVI móviles, y se caracterizan por actuar en su interior un médico, un enfermero (DUE) y un técnico de transporte sanitario, además del conductor situado en la cabina. Estos vehículos se equipan con gran cantidad de aparatos sanitarios y material médico – farmacéutico, lo que permite proporcionar todo tipo de servicios asistenciales hasta la llegada al hospital. Por contra, su diseño presenta una gran dificultad, especialmente la elección y ubicación de todo el material médico y sanitario.

La razón de esta dificultad está en el hecho de que un cierto equipo será utilizado por un sanitario u otro en función del tipo de intervención, según marque el protocolo de actuación existente. Así, al ocupar cada sanitario una posición concreta con respecto al paciente, es frecuente que las manos de los sanitarios se crucen en algunas intervenciones por necesitar coger simultáneamente materiales o equipos alejados de ellos y próximos a los otros.

De hecho, la queja quizás más frecuente y grave extraída de las reuniones del grupo de carrozado sobre las UVI actuales es que "la distribución del mobiliario hace difícil algunas intervenciones por el desorden, material mezclado y de difícil selección". En la misma línea se apuntó que "la ubicación de elementos necesarios en ocasiones es muy lejana a

la persona que lo necesita”.

Para la fabricación de una ambulancia se parte de una furgoneta de serie, similar a las empleadas para el reparto de mercancías. Su elección es función de su motorización, de su espacio interior (del entorno de los 12 m<sup>3</sup>, bastante más reducido tras la transformación), así como de otros aspectos como de la facilidad de transformación.

Los requisitos mínimos y máximos que deben cumplir las UVI móviles del SUMMA 112 vienen reflejados en el Anexo 2. NORMA UNE-EN 1789, “Vehículos de transporte sanitario y sus equipos. Ambulancias de carretera”, pero habitualmente tienen potencias en torno a los 140 CV, una longitud de 5,6 m, con un ancho de 2,1 m, un alto de 2,5 m y una carga útil de unos 1500 Kg. La suspensión no siempre es neumática, lo que implica un menor confort tanto para el herido o enfermo como para el personal sanitario, que llegan a soportar niveles altos de vibraciones acumuladas durante la jornada laboral. Además de un portón trasero de amplias dimensiones, deben disponer también de una puerta lateral ancha para permitir la entrada y salida de los sanitarios.

Los modelos más habituales en la actualidad, pertenecientes a los principales fabricantes mundiales son: Mercedes Sprinter, Volkswagen LT, Citroën Jumper, Peugeot Boxer, Renault Master, Fiat Ducato, Opel Movano, Ford Transit o Iveco Daily.

Una vez seleccionado el vehículo, un carrocerero es el encargado de practicarle las reformas necesarias, así como la instalación de nuevos equipamientos y mobiliario interior, teniendo lugar en el proceso de carrozado un incremento de valor equivalente al inicial del propio vehículo.

El carrozado del vehículo es, por tanto, el aspecto más importante del vehículo. Una buena transformación, unido a una buena distribución y un equipamiento avanzado, harán que la UVI sea capaz de cumplir el gran número de requisitos que se le van a exigir en funcionamiento. El carrocerero recibe un furgón de carga y entrega una UVI móvil.

La transformación completa de la furgoneta en UVI lleva diversos aspectos asociados que han de tenerse en cuenta por separado y a su vez en conjunto, como son la habitabilidad o transformación inicial, la instalación eléctrica, ya que por el equipamiento incorporado la demanda de energía es grande y continuada, la iluminación interior, el mobiliario, materiales y equipos, la señalización exterior, la climatización y la oxigenoterapia.

Por último, y para poder circular, es necesario que el vehículo sea homologado de nuevo, pues le ha sido practicada una “reforma de importancia” que ha modificado sus características estructurales, eléctricas y dinámicas inicialmente previstas por el fabricante.

### 3.- OBJETIVOS Y METODOLOGÍA EMPLEADA

El objetivo principal que se plantea es el diseño del habitáculo asistencial de las UVI móviles en la que todos los materiales y equipos estén preparados para realizar las intervenciones más críticas en el menor tiempo posible y de manera cómoda, sin interferencias del personal sanitario y con todo lo necesario lo más accesible posible para cada uno. Además, este diseño debe permitir realizar las operaciones más frecuentes con el mismo grado de comodidad y rapidez.

Otros objetivos, no menos importantes, son el aseguramiento de que el personal sanitario no tiene que adoptar posturas o posiciones difíciles, incómodas o arriesgadas, que las condiciones del paciente sean óptimas, y que las características técnicas y dimensionales del vehículo resulten aprovechadas al máximo.

La metodología seguida para cumplir dichos objetivos, Fig. 1, es analizar los distintos factores que pueden condicionar su posición. A partir de la información anterior se formula un modelo de programación lineal que consta de un conjunto de variables de decisión, un conjunto de restricciones y de una función objetivo:

- Cada conjunto de valores de las variables representa una solución, es decir, una disposición de los materiales dentro del habitáculo del vehículo.

- El conjunto de restricciones se construye a partir de la información recogida sobre las características que debe cumplir cualquier disposición factible de los materiales.

- Finalmente, la función objetivo es la que caracteriza la bondad de las soluciones.

Las técnicas de investigación operacional empleadas para la resolución de modelos de programación lineal son ampliamente conocidas, y se utilizan en algunas ocasiones en la resolución de problemas de diseño, como Ibraheem (2006), Takeda et al. (2007) o Araz (2007).

El problema del diseño del interior de una ambulancia comparte algunas semejanzas con la obtención de la distribución en planta de una industria. De hecho, este problema consiste, a grandes rasgos, en situar distintas unidades de equipamiento de manera que el proceso a realizar sea desempeñado con eficiencia y efectividad. La investigación operacional ha empezado a ser utilizada en el diseño de ambulancias desde hace poco tiempo, siendo Kelachankuttu (2006) y McKendall (2007) dos claros ejemplos de ello.

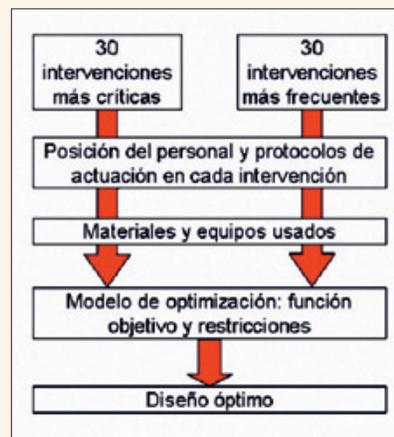


Figura 1. Metodología empleada

Además de las características propias del material y equipos médico – sanitarios y de los protocolos de actuación de personal en cada proce-

so o intervención, se han tenido en cuenta una serie de restricciones impuestas por el "grupo de carrozado" y por las características propias de los vehículos.

#### 4.- FACTORES O CONDICIONANTES PRINCIPALES TENIDOS EN CUENTA PARA EL DISEÑO

Como se ha comentado, para la correcta formulación de ecuaciones se han analizado distintos factores. Toda la información necesaria fue facilitada por los médicos del SUMMA 112 para luego ser procesada y parametrizada por los técnicos de la UPM.

##### A) CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL MÉDICO – SANITARIO

Las UVI móviles cuentan con un número elevado de materiales médico – sanitarios utilizados en las intervenciones, que van desde guantes o férulas hasta fármacos o jeringuillas desechables. En general debe ir equipada con todo el material médico, farmacológico, fungible, de inmovilización, etc., necesario para poder atender cualquier caso que requiera de una urgencia y esté dentro de las posibilidades del servicio. En España, el Anexo 2 del *Real Decreto 619/1998 de 17 de abril* marca el equipamiento mínimo con que se debe equipar estos vehículos, aunque la dirección del SUMMA 112 decidió que cada unidad debía ser equipada con el material necesario para atender todos los tipos de emergencias surgidas desde su fundación.

Si bien es importante que se disponga de cada material específico, también es vital que las cantidades que se transportan sean suficientes para atender un número considerable de afecciones similares durante una jornada de trabajo completa. En el SUMMA 112, el equipo que viaja en el vehículo no tiene tiempo de volver a su base original para reponer materiales, es por ello que la cantidad de producto debe ser suficiente para el peor caso posible, es decir, que se presenten varias intervenciones en las que se requiera del mismo tipo de

material. La media de intervenciones por turno de trabajo es de cinco, por lo que la cantidad de cada material será el número necesario en la actuación más desfavorable multiplicada por cinco. Además, como factor de seguridad, se incrementará esta cantidad un 10%.

Se realizó una lista con los 343 materiales incorporados, agrupándolos en doce categorías: farmacología, fluidoterapia, antisépticos, oxigenoterapia, cardiovascular, vía aérea, sondaje y drenaje, quirúrgico, traumatólogo, lavado gástrico, ropa – material fungible, y otros. En la lista se anotó, de cara a facilitar su ubicación en la UVI, la cantidad de cada uno de estos materiales, indicando además quién o quiénes son los encargados de utilizar dichos materiales en el conjunto de intervenciones, y si estos son necesarios en la lista de las treinta intervenciones más críticas o en las treinta más frecuentes.

##### B) CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS MÉDICOS Y SANITARIOS

Un vehículo destinado a la atención urgente de personas ante accidentes o afecciones críticas necesita

de 17 de abril marca el equipamiento mínimo que deben incorporar estos vehículos.

Los equipos principales son un aspirador de secreciones, caudalímetros, un pulsioxímetro, un electrocardiógrafo, dos desfibriladores (fijo y portátil), dos bombas de infusión (volumétrica y de jeringa), tres respiradores y una incubadora de transporte.

Después de seleccionar los modelos comerciales concretos para cada uno de los equipos seleccionados, se hicieron unas fichas técnicas con sus características principales. En el apartado de condicionantes para el diseño del habitáculo asistencial, se incluían los siguientes datos:

- Personal que lo utiliza en las 30 operaciones más críticas y en las 30 más frecuentes.

- Tamaño, de cara a su posicionamiento.

- Características técnicas.

- Si siempre son utilizados por el mismo sanitario, o si su uso depende del tipo de intervención, lo que podría provocar interferencias en su uso.

- Medidas de seguridad a tener en cuenta.

La media de intervenciones por turno de trabajo es de cinco, por lo que la cantidad de cada material será el número necesario en la actuación más desfavorable multiplicada por cinco

disponer de unos equipos que garanticen una atención rápida y de calidad ante situaciones límite. Al igual que con el material médico – sanitario, el Anexo 2 del *Real Decreto 619/1998*

Todos ellos sirvieron para parametrizar las ecuaciones que definían su uso, y que permitían posicionarlos en la UVI.

**C) ANÁLISIS Y FRECUENCIA DE LOS 30 PROCESOS MÁS CRÍTICOS DURANTE EL ÚLTIMO AÑO**

Para poder dar prioridad a las actuaciones que requieren una mayor atención, se pidió al grupo de carrozado que identificaran las intervenciones más críticas. Para cada una de ellas se realizó una tabla que contaba con los siguientes datos:

- Definición
- Cuadro clínico
- Tratamiento de emergencia
- Materiales y equipos a utilizar
- Posicionamiento y movimientos del personal sanitario

Con ellos se pudo priorizar la utilización de cada equipo, parametrizando las ecuaciones que definen su uso.

**D) ANÁLISIS DE LOS 30 PROCESOS O ACTUACIONES MÁS FRECUENTES DURANTE EL ÚLTIMO AÑO**

Después de las intervenciones más críticas, interesaba dar prioridad a las más frecuentes, que fueron extraídas de los informes anuales del SUMMA 112. De la misma manera que antes, se realizó una tabla con los datos de la definición de la intervención, cuadro clínico, tratamiento

de emergencia, materiales y equipos a utilizar, y posicionamiento y movimientos del personal sanitario, y de la misma manera se parametrizaron las ecuaciones que definen su uso.

Las treinta operaciones más frecuentes durante 2005 fueron las siguientes: Síncope / lipotimia (1880), Angor estable – inestable (1772), Crisis compulsiva (1494), Trast. pánico / ansiedad (1409), Dolor torácico (1092), Hipoglucemia (862), Contusiones y traumatismos (802), Intento de suicidio (592), Infarto agudo de miocardio (526), Infección Respiratoria/ bronquitis (494), Fibrilación auricular (403), Intoxicación alcohólica (399), Síndrome febril / fiebre (369), Hemorragia digestiva (339), Edema agudo pulmón (291), Intoxicación Benzodiacepinas (258), Crisis hipertensiva (247), Taquicardias (232), Accidente cerebro vascular (229), Bradiarritmias (219), Dolor abdominal (216), Insuficiencia respiratoria (191), Muerte con RCP (172), Disnea (154), Asma agudo (142), Cardiopatía isquémica (140), Mareo inespecífico (138), Parada cardiorrespiratoria (119), Reacción alérgica / urticaria (114), Hipotensión (109).

**E) PROTOCOLO DE ACTUACIÓN Y POSICIÓN DEL PERSONAL SANITARIO PARA CADA UNO DE LOS PROCESOS ANTERIORES**

Como se ha comentado, se analizó para cada una de las 30 intervenciones más críticas y más frecuentes la posición y el protocolo de actuación establecido por el SUMMA 112 para el médico, el enfermero y el técnico de transporte, lo que permitió programar las ecuaciones que dieron las posiciones óptimas de cada material y equipo.

**F) MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS POR CADA PERSONAL SANITARIO EN CADA UNO DE LOS PROCESOS ANTERIORES**

Igualmente se analizaron los materiales y equipos que los protocolos de actuación del SUMMA 112 establecen para cada intervención analizada. Tras su parametrización ya se tienen todos los elementos necesarios para la formulación y resolución del modelo de programación lineal.

**5.- DEFINICIÓN DEL MODELO**

Se presenta ahora el modelo reali-

Grupo diagnóstico	Intervención
Endocrinas, nutritivas, metabólicas e inmunidad	Coma hiperosmolar, Coma hipoglucémico
Trastornos mentales	Delirium, Intoxicación por cocaína, Intoxicación por opioides, Intoxicaciones farmacológicas frecuentes
Aparato circulatorio	Infarto agudo de miocardio, Tromboembolismo pulmonar (TEP), Parada cardiorrespiratoria, Hemorragia subaracnoidea, Aneurisma aórtico
Aparato respiratorio	Infecciones respiratorias agudas, Bronquitis aguda, Obstrucción de las vías respiratorias, Neumotórax a tensión
Emb., parto y puerperio	Eclampsia
Sínt. y est. mal definidos	Shock cardiogénico, Shock hipovolémico / séptico
Lesiones y envenenamientos	Fractura cerrada, Fractura abierta, Politraumatismo /shock traumático, Amputaciones, Quemados, Intoxicación monóxido de carbono, Hipotermia, Trastornos por calor, Shock anafiláctico, Electrocuación / fulguración
Causas externas	Trauma por explosiones y bombas, Herida por arma blanca o arma de fuego

Tabla 1. Treinta operaciones más críticas.

## La pared se puede asemejar a un rectángulo dividido en un número de celdas rectangulares, de manera que la pared tiene I columnas por J filas

zado. El primer paso fue realizar una lista de las variables y los parámetros involucrados. Después se presenta la función objetivo con sus restricciones, para posteriormente obtener la solución del modelo.

### 5.1.- DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El problema consiste en definir la distribución de la pared principal del vehículo (la derecha en orden de marcha), asignando la localización específica de cada equipo y material.

La pared se puede asemejar a un rectángulo dividido en un número de celdas rectangulares (cada una de  $\Delta x$  de ancho y  $\Delta y$  de alto), de manera que la pared tiene I columnas por J filas. La pared debe contener M materiales diferentes. Las restricciones de posición son tales que un material m necesita para su colocación un mínimo número de celdas horizontales ( $R_m$ ) y un mínimo número de celdas verticales ( $H_m$ ). Así, para simplificar, todos los materiales fueron asimilados a formas rectangulares.

Por otra parte, debido a la ergonomía, algunos materiales no se podrían posicionar bajo un cierto nivel.

La posición del personal en el vehículo se presenta en la figura 2, siendo  $l_1$ ,  $l_2$  y  $l_3$  el valor respectivo de sus posiciones respecto del eje x.

Finalmente, la función objetivo consiste en minimizar la media de la distancia de cada equipo a los diferentes trabajadores, evitando al máximo las interferencias.

Las variables y parámetros usados en la construcción del modelo

son:

- I Número de celdas por fila
- J Número de celdas por columna
- P Número de operaciones
- M Número de materiales diferentes
- S Número de sanitarios
- Dx Ancho de la celda
- Dy Altura de la celda
- $R_m$  Mínimo número de celdas necesarias para posicionar el material m
- $H_m$  Número de celdas horizontales

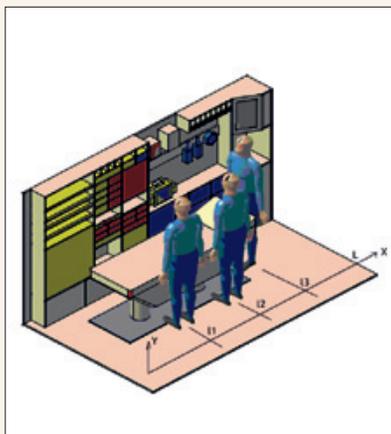


Figura 2. Posición del personal sanitario en las intervenciones.

- $V_m$  Número de celdas verticales necesarias para posicionar el material m
- $F(s,p)$  1 si el material es utilizado por el sanitario s en la operación, 0 en caso contrario

- $a_{smp}$  0 si el sanitario s no necesita el material m en la operación p; en caso contrario el sanitario s lo utiliza
- $W_p$  Índice de relevancia para la operación p, que depende de su frecuencia y su importancia

### 5.2.- DEFINICIÓN DE VARIABLES

Dada la discretización del espacio en un número finito de celdas organizadas en los ejes x e y, las variables de acción del problema, de acuerdo con la posición de los materiales, son las siguientes:

$X_{ijm} = 0$  si la celda está situada en la i-ésima posición a lo largo del eje x y la j-ésima posición a lo largo del eje y y contiene el material m

$X_{ijm} = 1$  si la celda está situada en la i-ésima posición a lo largo del eje x y la j-ésima posición a lo largo del eje y y no contiene el material m

### 5.3.- FUNCIÓN OBJETIVO

La función objetivo es un índice de la distancia media de los trabajadores a los materiales que necesitan en las intervenciones más críticas y más frecuentes. Esta es la función a minimizar:

### 5.4.- RESTRICCIONES

Unicidad de posición

Cada celda contiene uno u sólo un material, ya que la celda es suficientemente fina para que dos materiales pudieran estar localizados en la misma celda

$$\begin{aligned} \min z = & \sum_{m=1}^M \sum_{p=1}^P W_m \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J x_{ijm} \cdot i \cdot \Delta y \cdot \alpha_{1mp} + \\ & + \sum_{m=1}^M \sum_{p=1}^P W_m \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J x_{ijm} \cdot |l_2 - i \cdot \Delta y| \cdot \alpha_{2mp} + \\ & + \sum_{m=1}^M \sum_{p=1}^P W_m \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J x_{mij} \cdot |L - i \cdot \Delta y| \cdot \alpha_{3mp} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\sum_{m=1}^M x_{ijm} \leq 1, \quad i=1 \dots I, \quad j=1 \dots J \quad (2)$$

Mínimos requisitos de material  
Debe haber una mínima cantidad de materiales de cada tipo.

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J x_{ijm} \geq R_m, \quad m=1 \dots M \quad (3)$$

Restricciones de forma  
Restricciones horizontales  
Si  $X_{ijm} = 1$  entonces a cualquiera de las restricciones  $H_m$  se le aplica:

$$\sum_{j=b}^{b+H_m} x_{ijm} = H_m, \quad b=i-H_m+1 \dots i \quad (4)$$

Restricciones verticales  
Si  $X_{ijm} = 1$  entonces a cualquiera de las restricciones  $V_m$  se le aplica:

$$\sum_{i=b}^{b+V_m} x_{ijm} = V_m, \quad b=j-V_m+1 \dots j \quad (5)$$

Máxima y mínima altura de las restricciones:

$$j \Delta y > H_m^{\max} - M \delta_{mj}, \quad m=1 \dots M \quad (6)$$

$$x_{mij} \leq M(1 - \delta_{mj}), \quad m=1 \dots M \quad (7)$$

$$j \Delta y > H_m^{\max} + M \varepsilon_{mj}, \quad m=1 \dots M \quad (8)$$

$$x_{mij} \leq 1 + M(1 - \varepsilon_{mj}), \quad m=1 \dots M \quad (9)$$

$$\delta_m + \varepsilon_m = 1, \quad m=1 \dots M \quad (10)$$

Restricciones de accesibilidad  
Los materiales deben ser posicionados al alcance del sanitario cuando los necesite:

$$\sum_{i=X_{s,j}^{\min}}^{X_{s,i}^{\max}} x_{M(i,s)} \geq 1 \quad (11)$$

## 6.- OPTIMIZACIÓN DEL MODELO Y DISEÑO FINAL

El modelo ofreció una solución óptima desde el punto de vista matemático, que fue presentada al "grupo de carrozado" y a los directivos del SUMMA 112, que sugirieron muy ligeras modificaciones para adecuarla a los gustos y costumbres de sus sanitarios. Las Figuras 4 y 5 muestran



Figura 3. Vista trasera de la solución implementada



Figura 4. Vista lateral de la solución implementada

la solución implementada, una vez construida.

Esta solución final fue la base del concurso público de equipamiento para la construcción de 32 UVI móviles completamente equipadas que se

produjo a continuación. Pasados unos meses de uso de los vehículos, se ha podido comprobar la satisfacción general de los trabajadores, que aunque han apuntado pequeñas mejoras para próximos concursos, consideran que es el mejor diseño que el SUMMA 112 ha tenido hasta el momento.

## 7.- CONCLUSIONES

El presente artículo presenta la metodología seguida para obtener una solución para el diseño interior de una UVI móvil del SUMMA 112.

Se adoptó una solución en dos

Para poder dar prioridad a las actuaciones que requieren una mayor atención, se pidió al grupo de carrozado que identificaran las intervenciones más críticas

## A nivel técnico el proyecto ha servido para mostrar cómo la investigación operacional puede ser muy útil para este tipo de trabajos, llegando a una solución óptima con mayor facilidad y mayores probabilidades de éxito

pasos. Primero, un grupo multidisciplinar fue el encargado de identificar los principales criterios de diseño, así como sus líneas generales.

Este primer paso sirvió como punto de partida de la segunda fase, que consistió en el desarrollo del modelo de optimización. A partir de aquí se obtuvo una primera solución que, tras unas mínimas modificaciones sugeridas a última hora por los trabajadores, se convirtió en la solución final, y que ha servido de base para un concurso público de equipamiento.

A nivel técnico el proyecto ha servido para mostrar cómo la investigación operacional puede ser muy útil para este tipo de trabajos, llegando a una solución óptima con mayor facilidad y mayores probabilidades de éxito. Esta misma metodología puede ser empleada en otros vehículos médicos (como los helicópteros asistenciales), en salas de operaciones, etc.

### 8.- AGRADECIMIENTOS

Los autores desean reconocer la ayuda y los datos proporcionados por el Servicio de Emergencias Médicas de la *Comunidad de Madrid, SUMMA 112*, especialmente a su Director Médico, el Dr. Modoaldo Garrido, así co-

mo al Instituto Universitario de Investigación del Automóvil, INSIA, de la Universidad Politécnica de Madrid.

### 9.- BIBLIOGRAFÍA

- Araz, C., Selim, H., and Ozkarahan, I., "A fuzzy multi-objective covering-based vehicle location model for emergency services", *Computers & Operations Research*, 2007, Volume 34, Issue 3, pp. 705-726.

- Ferreira, J., Hignett, S., "Reviewing ambulance design for clinical efficiency and paramedic safety", *Applied Ergonomics*, 2005, pp. 97-105.

- Ibraheem Alsalloum, O. and Rand, G.K., "Extensions to emergency vehicle location models", *Computers & Operations Research*, 2006, Volume 33, Issue 9, pp. 2725-2743.

- LCM 1996/287, Decreto 128/1996 de 29 de agosto. Consejería de Sanidad y Servicios Sociales. Ambulancias requisitos técnicos-sanitarios

- National Academy of Engineering, Washington, D.C., "Ambulance design criteria"; abstr. in US Government Research and Development Reports (Report No. PD — 185 106);

*Applied Ergonomics*, 1970, Volume 1, Issue 4, pp. 194-256.

- RD 1211/90, 28-9 ( BOE 8-10 ), por el que se aprueba el reglamento de la Ley de Ordenación de los Transportes Terrestres. Actualizado en mayo de 2002.

- RD 619/1998 de 17 de abril, por el que se establecen las características técnicas, el equipamiento sanitario y la dotación de personal de los vehículos de transporte sanitario por carretera. Actualizado el 6/11/2000.

- Takeda, R.A., Widmer, J.A. and Morabito, R., "Analysis of ambulance decentralization in an urban emergency medical service using the hypercube queuing model", *Computers & Operations Research*, 2007, Volume 34, Issue 3, pp. 727-741.

- UNE-EN 1789/A1:2003. Vehículos de transporte sanitario y sus equipos. Ambulancias de carretera. ■