

## **Evaluación mediante modelos de preferencias de política de gestión dinámica de zonas de carga y descarga de mercancías**

**J. Nicolás Ibáñez Rivas, Jesús Muñuzuri Sanz, Juan Larrañeta Astola, José Guadix**

Grupo de Ingeniería de Organización. Escuela Superior de Ingenieros. Universidad de Sevilla. Camino de los Descubrimientos, s/n. 41092 Sevilla. juannicolas@us.es, munuzuri@esi.us.es, astola@us.es

### **Resumen**

*Un aspecto fundamental de los proyectos piloto de demostración es la metodología utilizada posteriormente para evaluar el resultado de los mismos. Se presenta el método planteado para evaluar un proyecto piloto de implantación de reserva a través de Internet de zonas de carga y descarga en Sevilla, también llamado gestión dinámica de zonas de carga y descarga. La evaluación se realiza a través de un modelo de preferencias ajustados a las respuestas de un cuestionario, y el trabajo se centra en la construcción óptima de dicho cuestionario, entendiéndose como óptimo aquel cuestionario que permita obtener la información más ajustada posible a partir del menor número de respuestas. Se presentan los criterios de bondad del cuestionario y los métodos de construcción, junto con los resultados obtenidos por cada uno.*

**Palabras clave:** Logística urbana, Modelos de preferencias, Diseño de experimentos

### **1. Introducción. Necesidad de gestión dinámica de zonas de carga y descarga**

Los principales problemas planteados por los transportistas que operan en el Centro de la ciudad de Sevilla tienen que ver con la regulación de horarios de acceso a dicho Centro, especialmente por la rapidez con la que obliga a repartir para adaptarse a los horarios de recepción de mercancías de los establecimientos comerciales y por la elevada concentración de vehículos de reparto que se produce durante tan pocas horas del día. Esta concentración lleva además asociado el problema del uso de las zonas de carga y descarga, aspecto en el que se centra el presente trabajo. Por ello, las zonas de carga y descarga no suponen actualmente una posibilidad sólida para el estacionamiento de vehículos de reparto al encontrarse frecuentemente ocupadas. A veces son vehículos privados los que ocupan estas zonas ilegalmente, pero en ocasiones se trata de otros vehículos de reparto que no respetan las condiciones de rotación de la zona, o bien que acaban de estacionar hace poco tiempo, por lo que habitualmente el transportista recurre al aparcamiento ilegal, en doble fila o encima de la acera, para realizar la entrega de mercancías.

En este sentido, por tanto, se observa la necesidad de introducir algún sistema para optimizar el uso de las zonas de carga y descarga, de manera que se garantice su disponibilidad para el uso de los vehículos de transporte de mercancías. Se propone en este caso la introducción de un sistema para optimizar el uso de las zonas de carga y descarga, de manera que se garantice su exclusividad para el uso de vehículos de transporte de mercancías. Igualmente, este sistema garantizaría la adecuada rotación de vehículos en las zonas de carga y descarga, evitando el estacionamiento indefinido de vehículos de reparto en ellas.

Las empresas de transporte participantes podrían reservar zonas de carga y descarga a través de Internet para realizar sus operaciones en las zonas seleccionadas para el experimento, con lo que se asegurarían la disponibilidad del aparcamiento en el momento que el vehículo lo necesite, durante el tiempo necesario (dentro de unos límites).

El grupo de trabajo al que pertenecen los autores está involucrado en el diseño de tal sistema, si bien en este artículo se presentan sólo los resultados de una de sus fases críticas para el éxito del proyecto, la valoración de las opiniones de los transportistas usuarios e involucrados en tal sistema de reparto.

## **2. Evaluación de la implementación de gestión dinámica de zonas de carga y descarga en el Centro de Sevilla**

No sólo se trata de la conocida cuantificación a posteriori de los efectos sobre los usuarios que conlleva la implementación de esta nueva medida de gestión del transporte de mercancías, sino de la incorporación de las opiniones de los transportistas al diseño final de la medida. La metodología seguida son los modelos de preferencias, entre los que se aplicarán modelos de elección discreta de tipo logit simple (McFadden, 1974) y mixto (McFadden y Train, 2000), de tipo probit (Ben-Akiva, 1985) y de tipo heterocedástico de valor extremo (Bhat, 1995).

Los modelos de preferencias se aplican a las respuestas de los transportistas a cuestionarios contruidos mediante el empleo de Diseño de Experimentos de Elección Discreta (Ibáñez, Muñuzuri y Larrañeta, 2003), cuyo inclusión en el trabajo resultará en una mayor precisión de las variables explicativas de la aceptación o rechazo de los transportistas a diferentes escenarios de aplicación de gestión dinámica de zonas de carga y descarga. Las respuestas a los citados cuestionarios compondrán una componente de naturaleza declarada (SP) que, combinada con datos de naturaleza revelada (RP) procedentes de experiencias de implantaciones piloto de la medida, darán lugar al empleo de los robustos modelos integrados RP-SP (Morikawa, 1989).

### **2.1. Función de utilidad lineal. Atributos y parámetros**

Para poder plantear la evaluación del atractivo de las distintas alternativas para el transportista es necesario introducir algún concepto medible que permita la comparación entre alternativas. El concepto básico que se propone es el de *utilidad*. Así, cada alternativa  $k$  tiene para el individuo una utilidad  $U_k$ . De la comparación entre las utilidades  $U_k$  extraeremos consecuencias sobre el modo de comportamiento del individuo para seleccionar la alternativa por la que opta.

Esta descripción es equivalente a decir que las utilidades constan de dos términos:

$$U_k = V_k + \xi_k$$

#### **Término $V_k$**

Es la parte determinista de la utilidad que el individuo le concede a la alternativa  $k$ . Viene descrita en términos de los atributos propios de la alternativa y de los del individuo. Es conocida y medible para el analista de la situación. Los modelos de preferencias o de elección discreta que se emplean se basan en expresiones lineales de esta parte determinista de la

utilidad y adoptan la siguiente forma.  $x_{kj}$  hace referencia a los distintos **atributos** de cada alternativa y  $\beta_j$  a los **parámetros** o ponderaciones a estimar:

$$V_k = \sum_{j=1}^L x_{kj} \beta_j$$

### Término $\xi_k$

Es una variable aleatoria que incluye los elementos que intervienen en la selección entre alternativas por parte del individuo pero que son desconocidas para el analista (quizás, incluso para el propio individuo que elige). Si se postula que esta variable aleatoria se distribuye según *Gumbel*, con parámetros 0 y  $\mu$  se obtiene el modelo no lineal de preferencias más básico: el modelo logit de tipo simple.

**Tabla 1.** Suposiciones acerca de partes aleatorias y modelos no lineales de preferencias resultantes

| Suposiciones acerca de los términos aleatorios                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Modelo no lineal de preferencias |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| $\xi_k \rightarrow Gumbel(0, \mu) \forall k \in C_m$<br>$cov(\xi_k, \xi_j) = 0 \forall k, j \in C_m \ k \neq j$                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Logit simple                     |
| $\xi_k \rightarrow Normal(0, \mu) \forall k \in C_m$<br>$cov(\xi_k, \xi_j) = 0 \forall k, j \in C_m \ k \neq j$                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Probit simple                    |
| $\xi_k \rightarrow Gumbel(0, \mu_k) \forall k \in C_m$<br>$cov(\xi_k, \xi_j) = 0 \forall k, j \in C_m \ k \neq j$                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Logit Heteroscedástico           |
| $\xi_k = \psi_k + \vartheta_k, \forall k \in M_g, \forall g \in G$<br>$\psi_k \rightarrow i.i.d. Gumbel(0, \lambda_m) \forall k \in M_g$<br>$cov(\psi_k, \psi_j) = 0, \forall k, j \in M_g \ k \neq j$<br>$\psi_k + \vartheta_k \rightarrow i.i.d. Gumbel(0, \lambda_g) \forall k \in M_g, \forall g \in G$<br>$cov(\psi_k + \vartheta_k, \psi_j + \vartheta_j) = 0, \forall k, j \in M_g \ k \neq j, \forall g \in G$ | Logit jerárquico                 |

## 2.2. Atributos

Se escogieron siete atributos explicativos asociados a la valoración por parte de los transportistas de la gestión dinámica de zonas de carga y descarga. En primer lugar, se consideran cuatro atributos relativos al proceso de aparcamiento y entrega de la mercancía:

- El coste mensual asociado al aparcamiento, en el que se incluiría tanto el precio a pagar por reservar zonas de carga como las multas recibidas en caso de aparcar ilegalmente.
- La distancia desde el punto de aparcamiento hasta el comercio o destino final de la mercancía.
- El tiempo empleado normalmente en buscar aparcamiento
- El tiempo necesario una vez que el vehículo está aparcado, consistente en la suma del tiempo de descarga de mercancías y del tiempo de entrega, o del tiempo de recogida más el tiempo de carga de las mercancías en el vehículo.

Además, se consideran tres atributos relativos a la compañía de transporte:

- El valor del envío, es decir, si se trata de mercancías de valor elevado o reducido.
- El tamaño de la compañía de transporte, teniendo en cuenta que compañías de mayor tamaño suelen disponer de más vehículos con los que planificar mejor sus rutas de reparto.

- La frecuencia semanal de envíos, entendida como número de veces por semana que el transportista debe realizar una entrega en la zona.

Todos son atributos cualitativos, es decir, que pueden tomar tantos valores como posibles niveles tenga el atributo, salvo el último, que es un atributo cuantitativo o numérico.

Los cuatro primeros atributos corresponden a preferencias declaradas, es decir, se puede solicitar al transportista que considere distintos escenarios hipotéticos de entrega de mercancías, que vengan caracterizados por diferentes combinaciones de valores de los parámetros, y que elija entre ellos. Por otro lado, los tres últimos atributos corresponden a preferencias reveladas, ya que caracterizan la forma de operar del transportista, y por tanto los valores que tomen serán únicos para cada transportista.

Es por ello que sólo los cuatro primeros atributos serán utilizados a la hora de realizar el diseño del cuestionario de evaluación. Los valores correspondientes a los otros tres serán simplemente recogidos para cada transportista consultado, con el objeto de comprobar posteriormente en qué medida afecta el tipo de transporte realizado al grado de aceptación de la gestión dinámica de zonas de carga y descarga.

En la Tabla 2 aparecen los diferentes atributos explicativos seleccionados, junto con los posibles niveles de cada uno. El atributo “Frecuencia semanal de envíos” no aparece dado que, como se ha dicho, no está limitado a niveles prefijados, sino que puede tomar cualquier valor numérico, dependiendo del número de veces que el transportista realice entregas en la zona a lo largo de la semana.

Junto a cada uno de los atributos cualitativos de la tabla, aparecen las variables correspondientes a su codificación por efectos, teniéndose en cuenta que para codificar un atributo con  $n$  posibles niveles son necesarias hasta  $n-1$  variables que pueden tomar los valores 0, 1 ó  $-1$ .

### **2.3. Cuestionario. Conjuntos de decisión**

Así, los transportistas serán confrontados con conjuntos de decisión formados por dos escenarios alternativos compuestos por diferentes combinaciones de valores de los atributos. La Tabla 3 muestra un posible conjunto de decisión, en el que un transportista de una compañía mediana que realiza entregas de mercancías de valor elevado 3 veces por semana debe elegir entre dos opciones. La primera es aparcar en doble fila justo delante del establecimiento en el que debe realizar la entrega, con un coste mensual de 120 € (se supone que a causa de las multas), 5 minutos para buscar aparcamiento (ya que, si se encuentra el espacio ocupado tiene que dar una vuelta y volver más tarde) y 1 minuto para realizar el envío. La segunda opción es reservar una zona de carga y descarga situada a 15 metros del punto de entrega, a un coste de 85 € mensuales, reduciéndose el tiempo de búsqueda de aparcamiento a 1 minutos y aumentándose el tiempo de entrega a 7 minutos. El transportista debe decidir cuál de los dos escenarios prefiere, y a partir de un número suficiente de decisiones de este tipo será posible estimar la importancia que otorga el transportista a cada uno de los atributos explicativos, lo cual se obtiene a través de los diferentes parámetros estimados.

**Tabla 2.** Atributos cualitativos y su codificación por efectos.

| Coste mensual | C1 | C2 | C3 |
|---------------|----|----|----|
| 240 €         | 1  | 0  | 0  |
| 120 €         | 0  | 1  | 0  |
| 60 €          | 0  | 0  | 1  |
| 30 €          | -1 | -1 | -1 |

| Distancia al destino | D1 | D2 |
|----------------------|----|----|
| 25-50m               | 1  | 0  |
| 10-25m               | 0  | 1  |
| 0-10m                | -1 | -1 |

| Tiempo de aparcamiento | A1 | A2 |
|------------------------|----|----|
| 10min                  | 1  | 0  |
| 5min                   | 0  | 1  |
| 1min                   | -1 | -1 |

| Tiempo Desc-entrega-recog-Carga | T1 | T2 |
|---------------------------------|----|----|
| 20min                           | 1  | 0  |
| 10min                           | 0  | 1  |
| 2min                            | -1 | -1 |

| Valor del envío | V1 | V2 |
|-----------------|----|----|
| Elevado         | 1  | 0  |
| Promedio        | 0  | 1  |
| Bajo            | -1 | -1 |

| Tipo de compañía | E1 | E2 |
|------------------|----|----|
| Grande           | 1  | 0  |
| Mediana          | 0  | 1  |
| Pequeña          | -1 | -1 |

**Tabla 3.** Valoración de la gestión dinámica frente a situación actual del reparto de mercancías.

| ALTERNATIVAS                                  | ATRIBUTOS ALTERNATIVAS DE REPARTO |                      |                        |                  | CARACTERÍSTICAS TRANSPORTISTA |                 |                  | ELECCIÓN |
|-----------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------|------------------------|------------------|-------------------------------|-----------------|------------------|----------|
|                                               | Coste mensual                     | Distancia al destino | Tiempo de aparcamiento | Tiempo por envío | Frecuencia de envío semanal   | Valor del envío | Tipo de compañía |          |
| Aparcamiento en doble fila                    | 120 €                             | 0m                   | 5min                   | 1min             | 3veces                        | Elevado         | Mediana          | ✓        |
| Gestión Dinámica de zonas de carga y descarga | 85 €                              | 15m                  | 1m                     | 7min             |                               |                 |                  |          |

### 3. Diseño del cuestionario. Métodos

El resto del trabajo está dedicado a la construcción del cuestionario, es decir, a la selección de los conjuntos de decisión que se deben presentar a los transportistas de forma que se obtenga la mejor información posible de sus preferencias. Existen  $4 \times 3 \times 3 \times 3 = 108$  posibles combinaciones de niveles de los atributos de cada una de las alternativas de reparto que se consideran (aparcamiento convencional y gestión dinámica de carga y descarga), pero existen muchas más formas de agrupar esos 108 perfiles en conjuntos de decisión de dos alternativas. Utilizando diseño de experimentos se propone elegir los perfiles que contesta cada individuo de una forma ordenada, de tal manera que la información a extraer de ellos se haga lo más eficientemente posible (mayor fiabilidad en las estimaciones y previsiones con el menor número de observaciones como sea posible)

#### 3.1. Criterios de construcción del cuestionario

El criterio que mide la eficiencia de un diseño de elección es el del tamaño de la matriz de covarianza de los parámetros que se estiman a partir de los datos recogidos con tal diseño. El tamaño hace referencia obviamente no a las dimensiones de la matriz, sino a los valores de

sus elementos. Mientras menores sean los valores de la matriz de covarianza más eficiente será el diseño. No existe una medida única del tamaño de una matriz, si bien se ha utilizado mayoritariamente en la escasa literatura de diseños de elección el determinante de la matriz como aproximación a dicho tamaño ( $D\_Error$ )

El  $D\_Error$  óptimo (más pequeño) se obtiene cuando el diseño cumple en mayor medida los cuatro criterios siguientes:

- **Equilibrio de niveles:** El equilibrio de niveles consiste en que cada uno de los niveles de un atributo aparezca en el diseño el mismo número de veces.
- **Ortogonalidad:** Establece que cada combinación posible de niveles de dos atributos cualesquiera se repitan el mismo número de veces a lo largo del diseño. Se traduce en la diagonalidad de la matriz de covarianza o ausencia de solapamiento entre el poder explicativo de las variables del comportamiento observado.
- **Equilibrio de utilidades:** El equilibrio de utilidades se cumple cuando las utilidades de las alternativas que forman cada conjunto de decisión son tan parecidas como es posible; con su cumplimiento se evita la dominancia entre alternativas.
- **Diferencia de valores de los atributos:** Esta diferencia es relevante para los diseños de elección discreta porque los contrastes entre alternativas en un conjunto de decisión tienen sentido sólo si las alternativas no son iguales, lo que se consigue con una diferencia de los niveles de los atributos de las alternativas.

### 3.2. Métodos de construcción del cuestionario

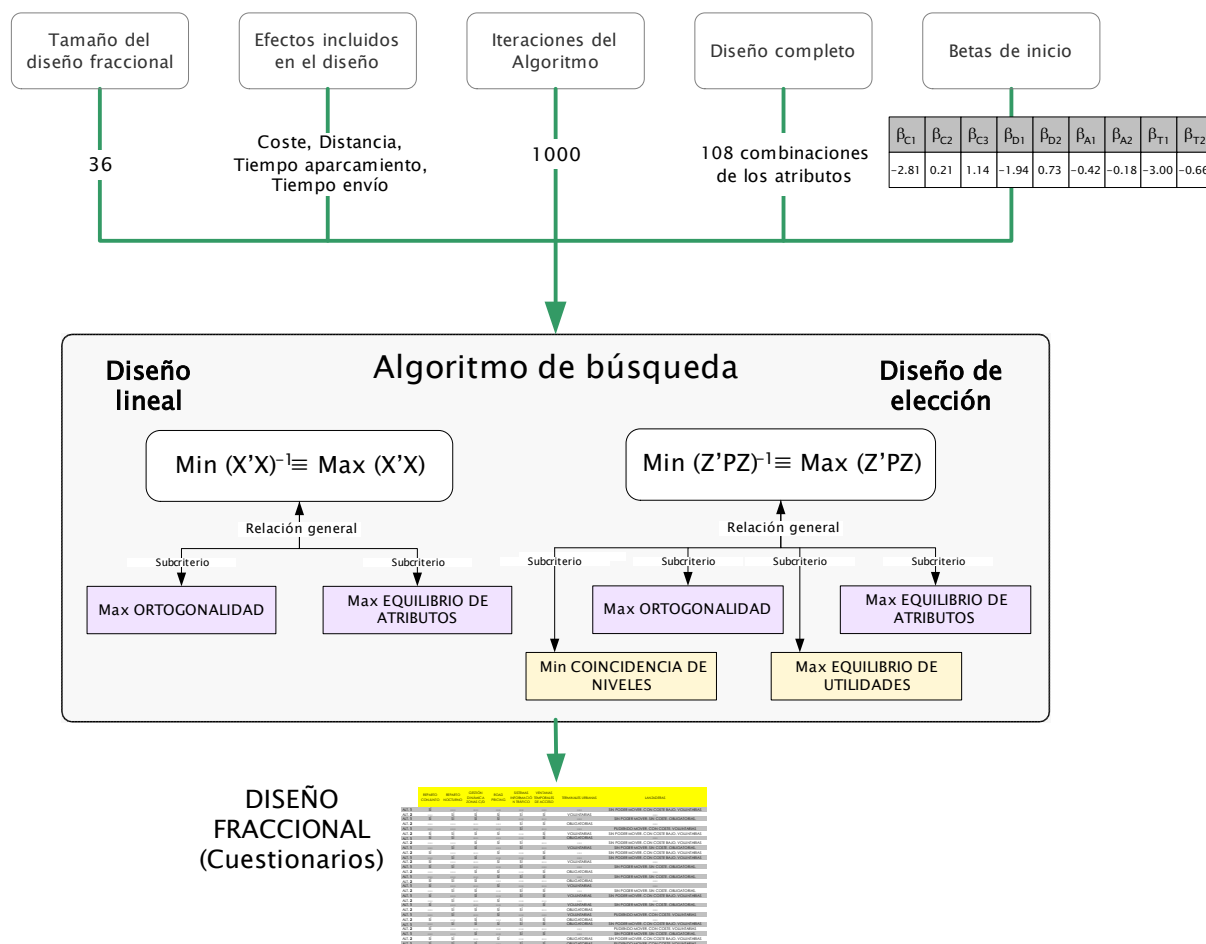
Se pretende construir un cuestionario de 18 conjuntos de decisión, con dos escenarios a comparar en cada uno, es decir, se deben seleccionar 36 de los 108 posibles perfiles y agruparlos de dos en dos. Para ello, se proponen tres métodos diferentes: la selección aleatoria, una semi-heurística y un método de búsqueda algorítmica. A continuación se describe cada uno de los tres.

**Selección aleatoria:** del total de 108 posibles perfiles, se eligen 36 aleatoriamente y se distribuyen, también aleatoriamente, en los 18 conjuntos de decisión. Este método se emplea como cota inferior de la optimización de la construcción del cuestionario.

**Semi-heurística:** se realiza un diseño fraccional de tamaño 36 (es decir, la tercera parte del total de 108 posibilidades). Este diseño fraccional garantiza que se cumple perfectamente el equilibrio de niveles, así como un nivel aceptable de ortogonalidad una vez que se codifique el diseño. Posteriormente, y partiendo de unos valores estimados de los parámetros  $\beta_j$  se calcula la utilidad que proporciona al transportista cada uno de los 36 escenarios seleccionados. Entonces, con el objeto de cumplir en la mayor medida posible los criterios de equilibrio de utilidades y de diferencia de valores de los atributos, se van agrupando de dos en dos de forma que sus utilidades sean lo más parecidas posible. Cuando haya varias opciones (porque haya varios escenarios que tengan el mismo valor de la utilidad), se elige aquella pareja de escenarios que difieran más en el valor de sus atributos.

Para la construcción del diseño fraccional se utilizan dos estrategias diferentes: una relación de confusión de orden III (el último atributo es igual al producto de los primeros dos,  $T1=D1 \times A1$ ) y una de orden IV (el último atributo es igual al producto de los tres primeros,  $T1=C1 \times D1 \times A1$ ).

**Búsqueda algorítmica:** Esta metodología para la construcción de los cuestionarios consiste en emplear un algoritmo que rastrea selectivamente entre los posibles cuestionarios que se pueden construir en base a encontrar un diseño con mínimo D\_Error. El algoritmo está basado en la propuesta de Fedorov (1972) y en la Figura 1 se muestra el input y output de este algoritmo para la aplicación que nos ocupa. Mas detalles sobre el algoritmo y su eficiencia respecto a otras estrategias se muestra en Ibáñez (2004).



**Figura 1.** Input y Output del Algoritmo de búsqueda para construir los cuestionarios

Como se ha visto, el cuestionario se emplea para estimar los valores de los parámetros, o coeficientes de la función lineal de utilidad. Pero, por otra parte, para calcular el D\_error de un diseño de cuestionario, es decir, para saber cómo de bueno es el cuestionario, es necesario conocer los valores de los parámetros. Esta aparente contradicción se resuelve construyendo dos cuestionarios:

- Inicialmente se construye un cuestionario **a partir de parámetros nulos**, es decir, que supone que todos los escenarios posibles ofrecen la misma utilidad a los transportistas. Se trata de un cuestionario piloto, que se pasa a un número reducido de individuos, y a partir del cual se estiman unos valores piloto de los parámetros.
- Seguidamente, se construye otro cuestionario **a partir de los parámetros piloto**, intentando minimizar el D\_error. Éste será el cuestionario que se pase a todos los individuos, y con el que se estimarán los valores definitivos de los parámetros.



**Figura 2.** Valores de los parámetros piloto junto a caracterizaciones positivas y negativas de los diferentes escenarios de logística urbana

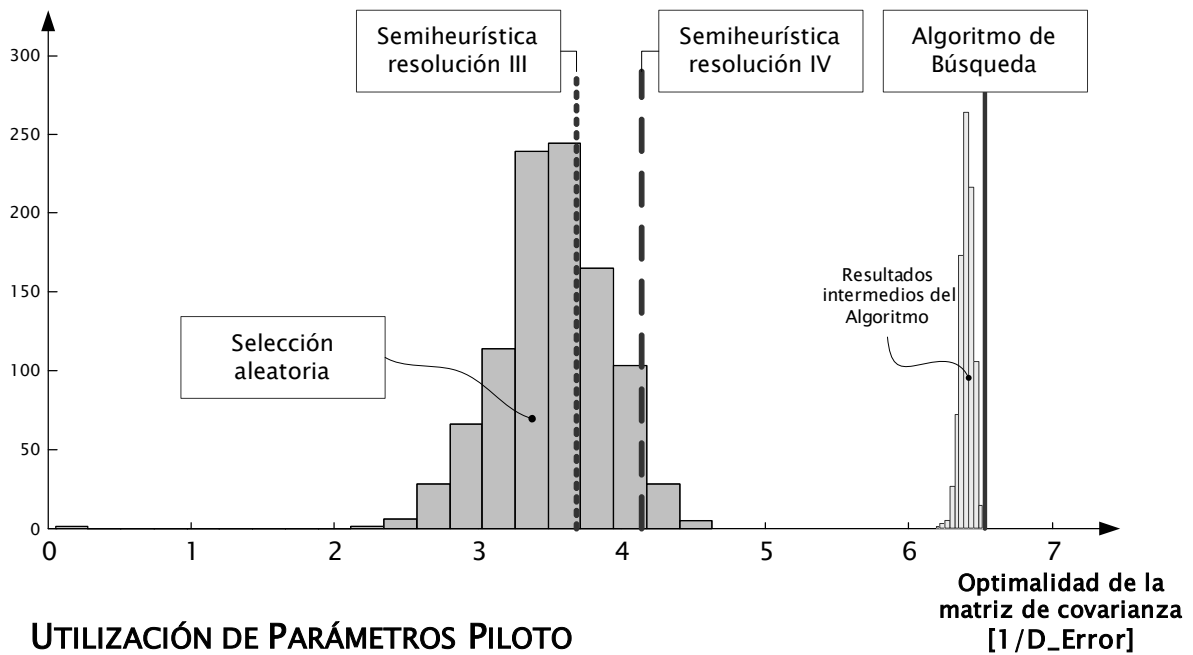
### 3.3. Resultados

En la Figura 3 se observan los resultados obtenidos para los dos cuestionarios anteriores al ser construidos con cada uno de los tres métodos descritos anteriormente. En primer lugar, llama la atención el hecho de que el cuestionario construido a partir de parámetros nulos proporciona una mayor optimalidad de la matriz de covarianza (inversa del D\_Error de la matriz de covarianza de los parámetros). Esto se debe al hecho de que, al ser la función de utilidad trivial, con los coeficientes de la función de utilidad nulos, las alternativas de cada conjunto de decisión son equiprobables, y el criterio de equilibrio de utilidades está totalmente garantizado. En el segundo caso, al ser una función de utilidad más realista, la matriz de covarianzas es menos lineal, y por eso los resultados son aparentemente peores.

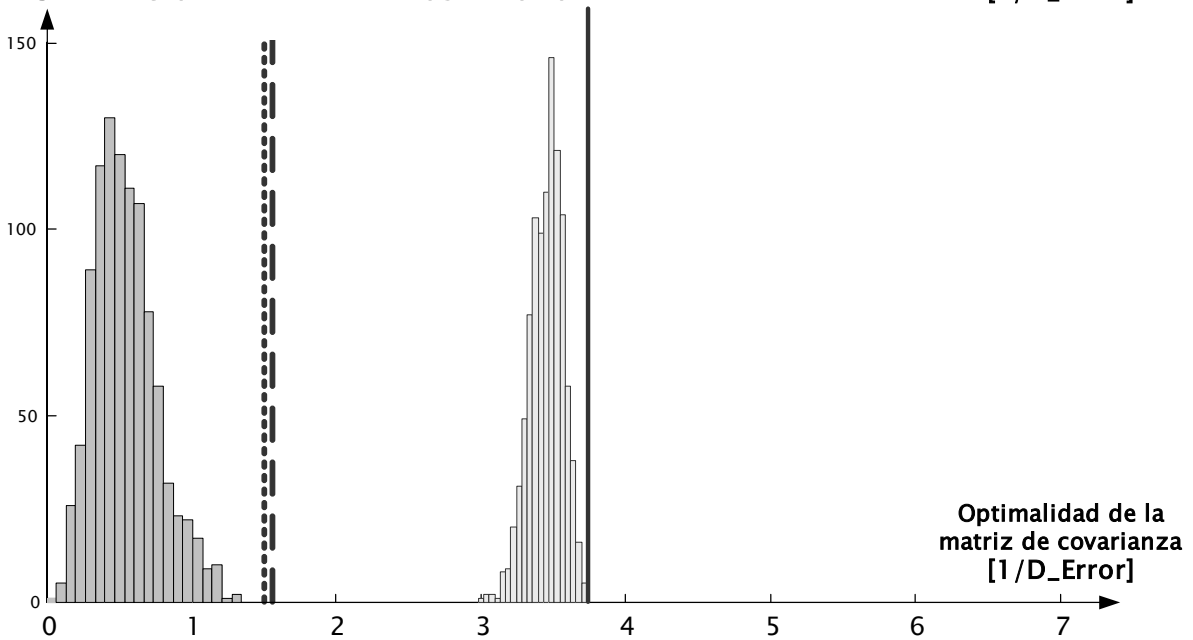
En cuanto a la bondad de cada uno de los métodos empleados, para el procedimiento aleatorio se representa un histograma, en el que se representa la distribución de cuestionarios conseguidos en 1000 ejecuciones. Junto a este histograma, se representa el grado de optimalidad de la semi-heurística de resolución III y la de resolución IV, así como el mejor cuestionario obtenido mediante búsqueda algorítmica. Como cabía esperar, la semi-heurística de resolución IV es levemente mejor que la de resolución III, ambas mejores que la selección aleatoria, y siendo la búsqueda algorítmica el mejor de todos los métodos.



## UTILIZACIÓN DE PARÁMETROS NULOS



## UTILIZACIÓN DE PARÁMETROS PILOTO



**Figura 3.** Bondad de los diseños de cuestionario alcanzados por los tres métodos empleados a partir de parámetros nulos y a partir de parámetros piloto.

## 4. Conclusiones

Para llevar a cabo la implantación de una alternativa que mejore el reparto de mercancías en la ciudad de Sevilla se recurre a la gestión dinámica de zonas de carga y descarga, y por tanto se necesita de una cuantificación de las valoraciones que el colectivo transportista tiene de esta medida. Los modelos de preferencias no lineales o de elección discreta son un método apropiado para estimar estas valoraciones, dada su capacidad para extraer conclusiones a

partir de una cantidad escasa de información, para lo cual será necesario controlar (diseñar) el proceso de construcción de los cuestionarios de recogida de datos.

En cuanto a los métodos planteados para construir el cuestionario previo al ajuste de modelos de preferencias, se comprueba que el método semi-heurístico presenta una fiabilidad significativamente mejor que la simple selección aleatoria de conjuntos de decisión. Se trata por tanto de un método útil para construir cuestionarios “a mano”, sin implementar ningún algoritmo de creación del diseño.

Finalmente, la significativa mejora en cuanto a construcción del cuestionario que representa el empleo del algoritmo de búsqueda queda patente en este trabajo.

## Referencias

- Ben-Akiva, M., & Lerman, S. (1985). *Discrete Choice Analysis*. Cambridge, MIT Press.
- Bhat, C. (1995). A heteroscedastic extreme value model of intercity mode choice. *Transportation Research B*, 29, 471–483.
- Fedorov, V.V. (1972), *Theory of Optimal Experiments*. New York: Academic Press. ISBN: 0122507509
- Ibáñez, J.N. (2004) Modelos de Elección Discreta para el Diseño de Sistemas Logísticos en Entornos Urbanos. *Tesina de la Universidad de Sevilla*, 323 págs. Ref. DOIGE-04-2932.
- McFadden, D. (1974). Conditional logit analysis of qualitative choice behavior. In P. Zarembka (Ed.), *Frontiers in Econometrics* (pp. 105-142). New York: Academic Press.
- McFadden, D., & Train, K. (2000). Mixed MNL models of discrete response. *Journal of Applied Econometrics*, 15, 447–470.
- Morikawa, T. (1989) Incorporating Stated Preference Data in Travel Demand Analysis, *Ph.D. Dissertation, MIT*, Department of Civil and Environmental Engineering.