

Criterios de eficiencia en diseños de experimentos de elección discreta: aplicación a valoración de soluciones de logística urbana en Sevilla

Juan Nicolás Ibáñez Rivas¹, Jesús Muñozuri Sanz², Juan Larrañeta Astola³

¹Ingeniero Industrial, Universidad de Sevilla, Camino de los Descubrimientos s/n 41092 Sevilla,
juannicolas@us.es

²Dr. Ingeniero Industrial, Universidad de Sevilla, Camino de los Descubrimientos s/n 41092 Sevilla,
munuzuri@esi.us.es

³Dr. Ingeniero Industrial, Universidad de Sevilla, Camino de los Descubrimientos s/n 41092 Sevilla,
astola@us.es

RESUMEN

En el presente trabajo se analizan el proceso de construcción de cuestionarios/encuestas a partir de los cuales obtener información de transportistas acerca de soluciones de logística urbana de mercancías a implantar en Sevilla capital. La particularidad respecto al enfoque tradicional del diseño de experimentos reside en que los modelos de ajuste que se aplican a los datos recogidos son del tipo de elección discreta, siendo necesaria la consideración de criterios de diseño del experimento no contemplados en el enfoque tradicional, como son el equilibrio de utilidades, el equilibrio de atributos o la mínima coincidencia de niveles. Para construir cuestionarios/encuestas de este tipo se programa un algoritmo (Algoritmo de Búsqueda) cuyos resultados se comparan con los procedentes de la escasa literatura existente a este efecto.

Palabras clave: *Diseño de Experimentos, Elección Discreta, Modelos Logit, Logística Urbana*

1. Introducción.

El diseño de experimentos se aplica en los modelos estadísticos para distinguir si unos determinados factores influyen en una variable de interés y, en su caso, cuantificarla. La mayoría de aplicaciones de este tipo de diseño de experimentos está relacionada con el estudio de procesos industriales y con estudios hechos en laboratorio. En todos ellos se expresa una variable de interés (rendimiento de una máquina o número de ratones que cambian de hábito alimentario) a través de la variación de los factores explicativos medidos (índice de pureza de las materias primas y temperatura de funcionamiento de la máquina o dosis recibida por los ratones y edad de éstos) [15] y [13]

También se ha incorporado el diseño de experimentos a la tradición sociológica de estudio de comportamiento del consumidor. Considérese, por ejemplo, una compañía telefónica que esté interesada en conocer la influencia de varios factores en la duración de las llamadas telefónicas. Los factores que se miden serán típicamente: hora y día en que se produce la llamada, zona de la ciudad desde la que se hace la llamada, sexo del que realiza la llamada; tipo de teléfono (público o privado) desde el que se realiza la llamada, etc.

El diseño de experimentos establece reglas de diseño que afectan a qué combinaciones de factores considerar para medir los valores de la variable de interés y al tratamiento de posibles interacciones entre estos factores. Una vez tenidas en cuenta estas reglas se miden las variables de interés (rendimiento, número de ratones o duración de una llamada telefónica) y posteriormente se cuantifica mediante modelos de estimación qué importancia tiene cada

factor explicativo contemplado en el experimento. Estos modelos de estimación son los denominados *modelos de observación en una línea*, de entre los que destaca por su extensión y menor complejidad los modelos de regresión.

Si bien la tradición de diseño de experimentos clásica (tal y como se ha expuesto hasta ahora) es un tema muy tratado en la literatura, hay pocos trabajos que estudien la metodología asociada para recoger datos de elección entre alternativas en un grupo de población basados en cuestionarios o encuestas ([17], [16] y [4]) Mediante cuestionarios cada individuo es enfrentado con un número de conjuntos diferentes compuestos por dos o más alternativas, teniendo el individuo que realizar una decisión en cada conjunto. La variable de interés en este tipo de experimentos son las decisiones que se toman en el grupo de población de estudio (por ejemplo ir a trabajar en coche o en autobús), tomando el conjunto de factores explicativos (coste del desplazamiento, tiempo de viaje y variabilidad del tiempo de viaje) en cada alternativa toma una combinación de valores distinta, eligiendo el individuo aquella que más le satisface.

Factores				DECISIÓN (Marcar una)
	Coste	Tiempo	Variabilidad tiempo	
Alternativa 1 COCHE	2.50€	20min	Alta <small>(problemas aparcamiento)</small>	<input type="checkbox"/>
Alternativa 2 AUTOBÚS	0.70€	40min	Media	<input type="checkbox"/>

Figura 1: Conjunto de decisión en un experimento de elección discreta

Debido a que a cada individuo decide (elige) entre varias alternativas a este tipo de experimentos se les denomina de elección discreta. Esta forma de recoger información de los individuos es eficiente en tanto que se acerca al mecanismo real que los individuos siguen al expresar preferencias por una u otra alternativa (asignar utilidad a cada alternativa), no siendo necesaria la suposición de que todos los individuos encuestados emplean la misma escala para asignar puntuaciones a las alternativas*.

Una vez que la población objetivo responde los cuestionarios o encuestas, se procede a cuantificar mediante modelos de estimación qué importancia tiene cada factor explicativo contemplado en el experimento. En este caso no es factible la aplicación de modelos de regresión, siendo necesario y deseable el empleo de los denominados *modelos de observación en más de una línea*, de entre los que destaca por su extensión y menor complejidad los modelos de tipo multinomial logit[†], generalizados por McFadden a partir de mediados de los años setenta [11] y [12].

* En el caso de diseño de experimentos para aplicar modelos de regresión en el que la variable de interés sea las valoraciones hechas por un grupo de individuos, se debe hacer la suposición restrictiva de que para todos la escala utilizada tiene el mismo significado. En cambio, cuando se comparan alternativas de las que se elige una, la escala ya está implícita en cada conjunto de decisión. Los modelos de Elección Discreta sólo se emplean cuando hay valoraciones-decisiones de individuos de por medio, no teniendo sentido directo a priori en el caso del estudio de rendimiento de un motor o el del estudio del comportamiento de una población de ratones.

† Los Modelos de Elección Discreta (Discrete Choice Models) es la denominación de la disciplina que engloba a toda una serie de modelos de ajuste de datos obtenidos a partir de situaciones descritas por respuestas que reflejan la elección entre alternativas disponibles. Los Modelos Logit fueron los primeros Modelos de Elección Discreta, antes de que se desarrollasen generalizaciones que aportan mejores resultados dependiendo del caso en estudio (no siempre mejoras significativas)

Los modelos de elección discreta ajustan los datos obtenidos (elecciones de los individuos) a través de la asignación de pesos a cada uno de los factores explicativos de las decisiones de los individuos (coste, tiempo y variabilidad) Los pesos se asignan de tal forma que la probabilidad que el modelo asigna al conjunto de las alternativas que han sido realmente elegidas sea lo más alta posible (estimación de máxima verosimilitud) En un modelo logit estas probabilidades dependen de los parámetros estimados de la siguiente forma:

$$P_{COCHE} = \frac{e^{(\beta_{coste} \times Coste_{coche} + \beta_{tiempo} \times Tiempo_{coche} + \beta_{var} \times Variabilidad_{coche})}}{e^{(\beta_{coste} \times Coste_{coche} + \beta_{tiempo} \times Tiempo_{coche} + \beta_{var} \times Variabilidad_{coche})} + e^{(\beta_{coste} \times Coste_{bus} + \beta_{tiempo} \times Tiempo_{bus} + \beta_{var} \times Variabilidad_{bus})}} \quad (1)$$
$$P_{BUS} = 1 - P_{COCHE}$$

2. Modelos de Elección Discreta para la valoración de soluciones de logística urbana

En el presente trabajo se parte de la necesidad de cuantificar las valoraciones que transportistas de la ciudad de Sevilla tienen sobre una serie de soluciones de logística urbana. El enfoque utilizado es la aplicación de un modelo de elección discreta de tipo logit.

A partir de una base de 59 soluciones de logística urbana de mercancías, se seleccionan las 8 que cumplen mejor el equilibrio entre viabilidad de implantación en Sevilla y la repercusión significativa de sus efectos sobre la situación actual del reparto de mercancías en esta ciudad. Las 8 soluciones son las que siguen:

- *Reparto conjunto*, en el cual una de las compañías de transporte efectuaría los repartos de todas, con lo que se reducirían las necesidades de vehículos.
- *Reparto nocturno*, consistente en entregar determinadas mercancías durante la noche, evitando la congestión.
- *Gestión dinámica de zonas de carga y descarga*, consistente en la reserva a través de Internet de zonas de carga, con lo que el transportista se asegura que estén disponibles a la hora deseada.
- *Peaje urbano (Road Pricing)*, que consiste en cobrar una tasa por circular por determinadas zonas de la ciudad, y que es una de las medidas más drásticas contra la congestión.
- *Sistemas de información del tráfico*, que permitirían conocer la situación del tráfico y los atascos en tiempo real.
- *Eliminación de ventanas temporales* de acceso al Centro, permitiendo a los transportistas repartir con el horario que más les convenga, evitando las horas punta.
- *Terminales urbanas*, normalmente aparcamientos subterráneos a los que llegan las furgonetas y desde los que se lleva a cabo el reparto final mediante vehículos eléctricos.
- *Lanzaderas de mercancías*, espacios en superficie donde las furgonetas se quedan estacionadas, y el reparto final se realiza a pie.

La variable de interés de este problema son las valoraciones de los transportistas acerca de estas ocho soluciones logísticas. Para ello se utiliza un cuestionario en el que las alternativas

son diferentes implementaciones conjuntas de las ocho soluciones. Los transportistas encuestados se enfrentan sucesivamente con grupos de dos alternativas entre las que deberán elegir cuál prefieren más (o cual rechazan menos)[‡]

Cada uno de los factores explicativos (o atributos) es cada una de las soluciones de logística presentadas (reparto conjunto, reparto nocturno, etc.). Al tipo de aplicación de cada solución logística en cada alternativa del cuestionario se le denomina nivel del factor explicativo (o nivel del atributo) Una combinación de niveles de aplicación de las ocho soluciones consideradas constituye una alternativa válida del cuestionario. Si creamos otra combinación de niveles distinta de la anterior ya se puede preguntar al transportista cuál de las dos combinaciones prefiere, constituyendo una observación básica para estimar un modelo logit. En la Figura 2 y la Figura 3 se presentan los niveles de aplicación de cada uno de los ocho factores explicativos de las decisiones de los transportistas y un ejemplo de una observación extraída del cuestionario.

Niveles de los factores

	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	NIVEL 4
Factores explicativos de las decisiones de los transportistas	REPARTO CONJUNTO	Sin reparto conjunto	Con reparto conjunto	
	REPARTO NOCTURNO	Sin reparto nocturno	Con reparto nocturno	
	GESTIÓN DINÁMICA DE ZONAS DE CARGA Y DESCARGA	Sin gestión dinámica	Con gestión dinámica	
	PEAJE URBANO	Sin peaje urbano	Con peaje urbano	
	SISTEMAS DE INFORMACIÓN DE TRÁFICO	Sin sistemas de información	Con sistemas de información	
	VENTANAS TEMPORALES DE ACCESO	Sin ventanas temporales	Con ventanas temporales	
	TERMINALES URBANAS	Sin terminales urbanas	Con terminales urbanas voluntarias	Con terminales urbanas obligatorias
	LANZADERAS	Sin lanzaderas	Pudiendo mover Con coste Voluntarias	Sin poder mover Con coste bajo Voluntarias

Sin límite horario de estacionamiento en la lanzadera

Figura 2: Niveles de aplicación de cada una de las ocho soluciones

Factores explicativos de las decisiones de los transportistas

	REPARTO CONJUNTO	REPARTO NOCTURNO	GESTIÓN DINÁMICA	PEAJE URBANO	SISTEMAS INFORMAC. TRÁFICO	VENTANAS ACCESO	TERMINALES URBANAS	LANZADERAS	DECISIÓN (Marcar una)
Alternativa 1	Sin reparto conjunto	Con reparto nocturno	Con gestión dinámica	Sin peaje urbano	Con sistemas información	Sin ventanas temporales	Con terminales urbanas obligatorias	Sin lanzaderas	<input type="checkbox"/>
Alternativa 2	Con reparto conjunto	Sin reparto nocturno	Sin gestión dinámica	Con peaje urbano	Con sistemas información	Con ventanas temporales	Sin terminales urbanas	Sin poder mover Sin coste Obligatorias	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 3: Ejemplo de decisión hecha por un transportista

[‡] Obligar a decidir es otra forma de recoger información eficientemente incorporada por los modelos de elección discreta.

Pues bien, a la metodología seguida para asignar niveles a cada atributo del problema y construir así los cuestionarios es a lo que se llama diseño de experimentos de elección discreta. Antes de exponer el procedimiento seguido para construir el cuestionario en el apartado 4, se analiza en el apartado siguiente la conveniencia del formato del cuestionario presentado a los transportistas.

3. Formato de presentación del cuestionario: comprensión de los escenarios de aplicación de las soluciones logísticas

Existe una perspectiva en torno a la eficiencia de los datos que se recogen a través de un cuestionario que no es contemplada por ningún criterio numérico: si las diferentes alternativas representan escenarios cuya simulación mental por parte de los encuestados se hace prácticamente imposible se pierde una parte importante de la eficiencia en la toma de datos que aporta un correcto diseño del experimento. Las dos causas fundamentales que dan lugar a complejos escenarios son el empleo de un elevado número de atributos y la especificación nada clara de qué significan los atributos y sus niveles.

En el caso que trata este trabajo se cuenta con ocho atributos (soluciones de logística urbana) que en principio parece un número elevado. Antes de que los transportistas respondiesen a los cuestionarios se hizo una presentación detallada de en qué consistía cada solución (en la Figura 4 se representa un extracto de esta presentación gráfica)



Figura 4: Explicación de los atributos del cuestionario en un foro de transportistas

Adicionalmente, se hizo más clara y atractiva para el transportista la presentación de los cuestionarios. Ante tablas del tipo de la Figura 3 se espera un cansancio rápido del encuestado y no se asegura que simule correctamente los escenarios planteados en cada alternativa. Por ello se opta por presentar los cuestionarios de manera gráfica. En la Figura 5 se presenta la leyenda usada y en la Figura 6 un ejemplo de una respuesta a un cuestionario:

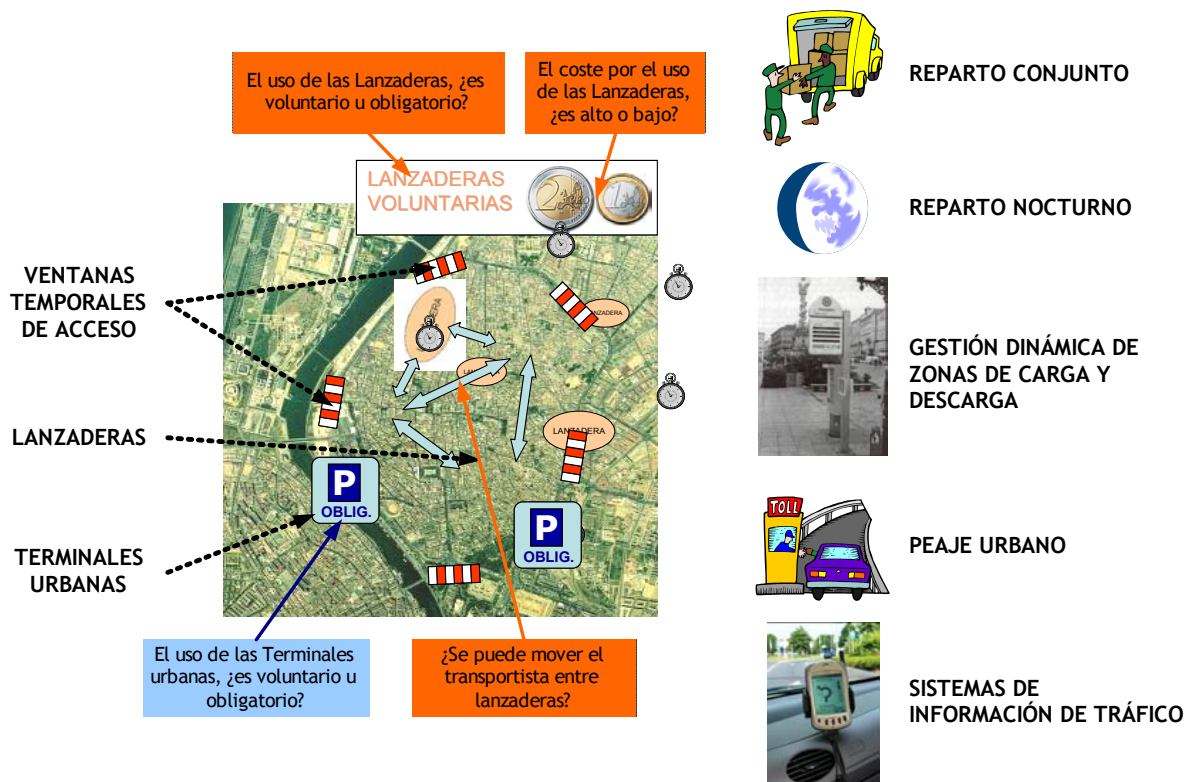


Figura 5: Leyenda para presentar el cuestionario gráficamente

	REPARTO CONJUNTO	REPARTO NOCTURNO	GESTIÓN DINÁMICA	ROAD PRICING	SISTEMAS DE INFORMACIÓN	VENTANAS TEMPORALES DE ACCESO	TERMINALES URBANAS	LANZADERAS
ALTERNATIVA 1								
ALTERNATIVA 2								

Figura 6: Respuesta de transportista a cuestionario gráfico

4. Diseño algorítmico de un experimento de elección discreta para valorar soluciones de elección discreta

4.1 Medida de la eficiencia global de un diseño de elección discreta

Los cuestionarios cuyas respuestas constituyen los datos que ajustará el modelo logit deben construirse en una etapa previa de diseño del experimento de elección discreta.

En la mayoría de trabajos en los que se valoran las opiniones de individuos acerca de disciplinas tales como hábitos de consumo, selección de residencia o tipo de vehículo para desplazarse al trabajo, se construyen los cuestionarios para recoger la información al azar o mediante reglas ad hoc.

No será éste el enfoque de este trabajo, en el que para construir el cuestionario que se pasa a los transportistas se realiza una búsqueda entre posibles cuestionarios minimizando un índice, el cual está relacionado con el tamaño de la matriz de covarianza de los parámetros estimados. Se recuerda que las estimaciones se obtienen mediante un modelo logit a partir de los datos (decisiones de los transportistas) recogidos en el cuestionario. Expuesto en otras palabras, una vez que construimos un cuestionario éste se pasa a los transportistas para que lo respondan, a continuación se codifican numéricamente las decisiones de los transportistas y los niveles de los atributos de las alternativas (niveles de aplicación de cada una de las ocho soluciones logísticas)[§], y finalmente se procede a la estimación de los pesos de cada solución en las decisiones de los transportistas. Estos pesos son los parámetros que estima el modelo logit, y junto a ellos también estima una matriz de covarianza entre dichos parámetros. Cuanto menor sea esta matriz está claro que mejor es el modelo de estimación, pues los pesos calculados son más fiables. Pues bien, el índice empleado en la construcción del cuestionario indica la magnitud de la citada matriz de covarianza y se denomina D-Error.

Del análisis de lo establecido en el párrafo anterior se deduce que la eficiencia del diseño del cuestionario sólo es calculable cuando ya se ha utilizado el cuestionario para estimar los parámetros, por tanto la eficiencia del modelo depende de los resultados que de él obtengamos. La dependencia se demuestra que es a través de las probabilidades que el modelo logit asigna a cada una de las alternativas del cuestionario, las cuales a su vez dependen de los pesos de los atributos. La dependencia entre la construcción del cuestionario y la medida de su eficiencia es circular. Nuestro enfoque la aborda a través de los cuatro pasos siguientes:

- Se suponen pesos nulos para todos los atributos y se diseña un cuestionario pequeño que se pasa a un número reducido de transportistas.
- Con los datos obtenidos se estima mediante un modelo logit los pesos de los atributos.
- Se usan estos pesos en la construcción del cuestionario general.
- Se pasa este cuestionario a todos los transportistas y se estiman finalmente los pesos de los atributos (pesos de las ocho soluciones de logística urbana)

[§] En este trabajo se usa codificación por efectos. Para un atributo-solución logística de dos niveles se emplea una variable que toma el valor -1 para uno de los niveles y 1 para el otro. Si la variable tiene tres niveles (como el atributo-solución terminales urbanas) se emplean dos variables que tomarán los valores 1 y 0 para un nivel, 0 y 1 para otro nivel y -1 -1 para el nivel restante. De forma similar se procede para atributos de más de tres niveles.

En el apartado 4.3 se muestran los resultados de la búsqueda de algorítmica del cuestionario al que responden los transportistas.

4.2 Criterios de eficiencia de un diseño de elección discreta

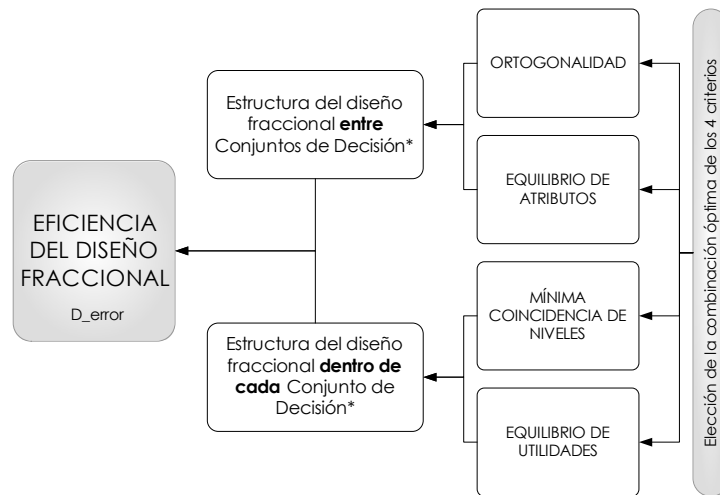
En [4] y [16] se analiza el diseño de experimentos con criterios de eficiencia, para ser aplicados a modelos de elección discreta de tipo logit. Se proponen cuatro criterios medidos directamente sobre el cuestionario y que caracterizan si a través de éste se recoge información eficientemente de los individuos que lo contestan. No existe una forma analítica que relacione los criterios de eficiencia con la medida de la eficiencia global del modelo (D-Error), pero sí que adoptan valores más favorables mientras mayor es esta eficiencia global.

Los cuatro criterios son: ortogonalidad, equilibrio de niveles de atributos, mínima coincidencia de niveles y equilibrio de utilidades (no actúa cuando se suponen todos los pesos de los atributos nulos) La mínima coincidencia de niveles, y sobre todo, la ortogonalidad, son criterios empleados por el diseño clásico de experimentos para la aplicación de modelos de regresión.

El enfoque introducido por los criterios se presenta en la Figura 7 y su cumplimiento para un cuestionario es deseable por las siguientes razones:

- Un diseño **ortogonal** (o casi ortogonal) es el criterio más difícil de imponer a un diseño de cierto tamaño si éste no se busca algorítmicamente. Un diseño es ortogonal si la columna de datos que corresponde a cada factor explicativo es ortogonal con respecto a todas las demás. La medición de la ortogonalidad utilizada en este trabajo es la establecida por Addelman ([1] y [2]). La consecuencia principal de que un diseño sea ortogonal es que la matriz de covarianza de los parámetros estimados a partir del cuestionario es diagonal, cuantificando exactamente qué parte de las decisiones de los individuos (transportistas) es explicada por cada uno de los factores explicativos (las ocho soluciones logísticas)
- El **equilibrio de niveles de los atributos** consiste en que cada nivel de cada factor explicativo (distintas aplicaciones de cada solución logística) aparezca en el cuestionario con la misma frecuencia. Si se discrimina un nivel frente a otros se hace al cuestionario ciego respecto a la escala real de variación de estos factores explicativos.
- La **mínima coincidencia de niveles** consiste en que dentro de un mismo conjunto de decisión (dos alternativas entre las que cada transportista elige) no se repita el mismo nivel de aplicación para ningún atributo. Si esto sucede no se puede saber la influencia del factor para el que se repiten los niveles en la explicación de la decisión del transportista.
- El **equilibrio de utilidades** es el único criterio que depende (igual que el D-Error) de los pesos estimados con la información recogida por el cuestionario. Si se suponen pesos nulos (primera fase de nuestro trabajo) el criterio se cumple artificialmente, y en caso contrario, es un criterio que participa activamente en la búsqueda de un diseño eficiente. El equilibrio de utilidades establece que dentro de cada conjunto de decisión no haya una alternativa claramente superior a otra, pues en este caso sólo se recoge la obviedad del

comportamiento de los transportistas. Lo deseable es presentar alternativas entre las que haya que establecer una decisión razonada, no obvia.



* Un conjunto de decisión (choice set) es cada conjunto de 2 alternativas entre las que el transportista ha de elegir una.

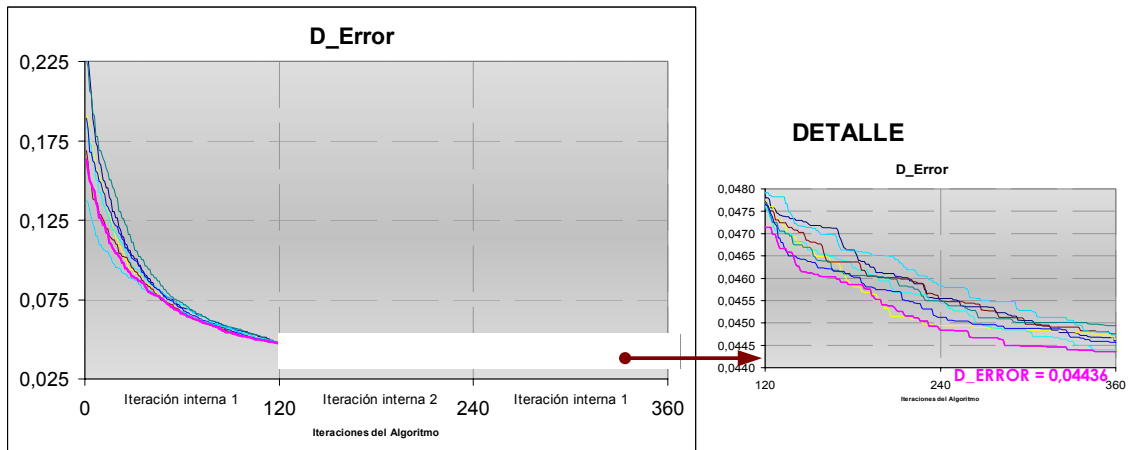
Figura 7: Criterios de eficiencia para construir diseños de experimentos de elección discreta

4.3 Resultados de la búsqueda algorítmica de un diseño de elección discreta

El primer paso el diseño del cuestionario supone pesos nulos para todas las soluciones de logística urbana que componen cada alternativa del cuestionario. Minimizando el D-Error mediante un algoritmo programado a tal efecto (Ibáñez [8]), se busca un cuestionario piloto de tamaño reducido. El siguiente paso consiste en pasar este cuestionario a un número pequeño de transportistas, y con las respuestas obtenidas se estima mediante el software econométrico LIMDEP ([10]) los pesos de cada una de estas soluciones (pesos iniciales). El tercer paso consiste en utilizar estos pesos iniciales para buscar mediante el algoritmo comentado el cuestionario de mayor tamaño, compuesto por los conjuntos de decisión (compuestos por dos alternativas) a los que responden la totalidad de transportistas objetivo del estudio. El último paso consiste en estimar con LIMDEP los pesos reales que cada una de las ocho soluciones de logística urbana tiene en las decisiones de los transportistas.

En la Figura 8 se muestra la evolución del algoritmo en la búsqueda de un cuestionario-diseño de elección discreta eficiente. Los resultados corresponden al tercero de los pasos: construcción del cuestionario global a partir de considerar los pesos estimados mediante un cuestionario piloto menor. El tamaño del cuestionario que se diseña es de 120 alternativas, que agrupadas de dos en dos, dará lugar a 60 conjuntos en cada uno de los cuales el transportista elige la alternativa de las dos que más le satisface.

En los eje de abscisas de la Figura 8 se representan las iteraciones que va completando el algoritmo y en el de ordenadas los valores de la eficiencia global (D-Error) y de los cuatro criterios de eficiencia comentados en el apartado 4.2. Cada línea significa un diseño aleatorio de partida del algoritmo.



— DISEÑO CON MÍNIMO D_ERROR

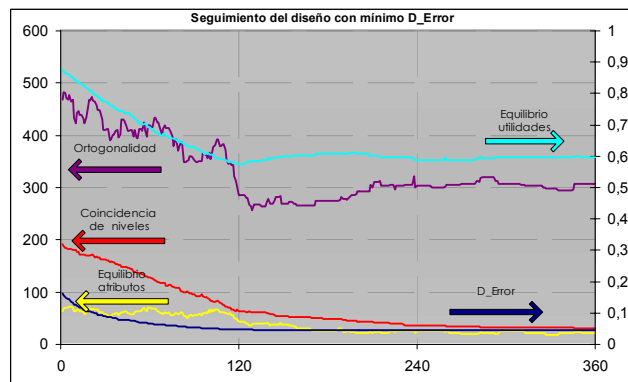
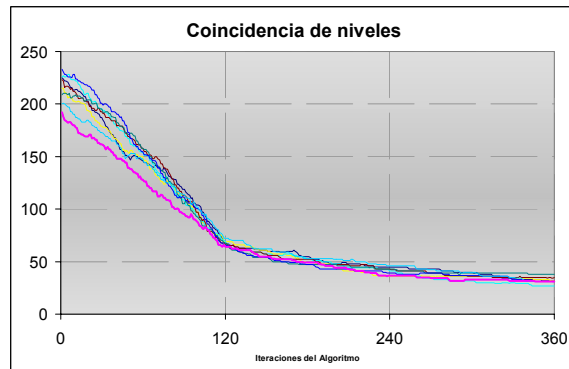
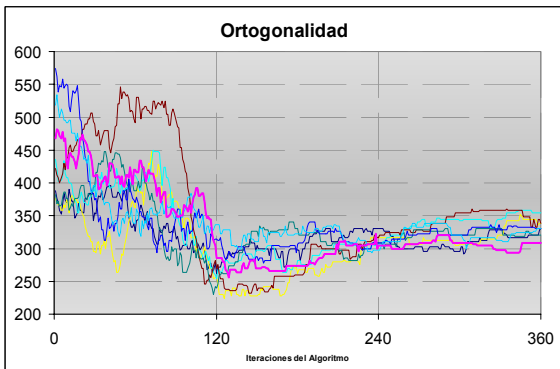
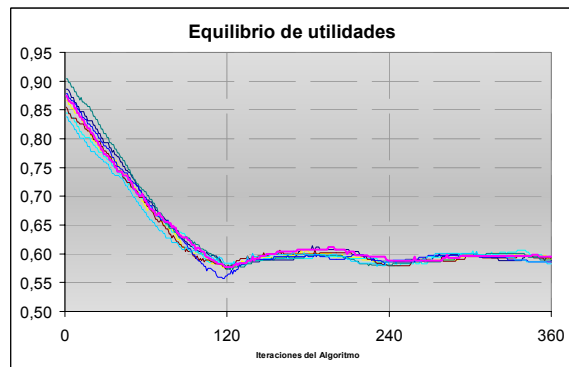
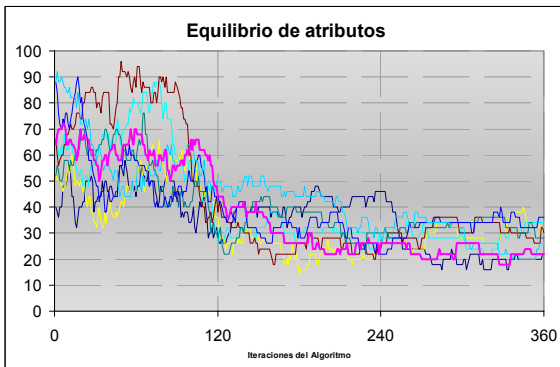


Figura 8: Búsqueda algorítmica de un diseño de elección discreta

4.4 Relevancia de incluir los pesos estimados mediante un cuestionario piloto menor

El caso de no haber calculado los pesos iniciales mediante un cuestionario piloto, se hubiesen supuesto éstos nulos, cumpliéndose artificialmente el criterio de equilibrio de utilidades. En esta situación de pesos nulos la medida de la eficiencia global a través del D-Error recoge el hecho en cierta forma mediante valores menores de esta medida. En principio puede parecer que estamos ante un mejor cuestionario por tener menor D-Error, pero lo cierto es que la eficiencia se mide una vez que se ha utilizado el cuestionario para estimar los pesos reales. Si se compara las eficiencias de cuestionarios contruidos a partir de pesos nulos y no nulos se concluye que es más eficiente diseñar un cuestionario en el segundo caso, introduciendo una aproximación de estos pesos reales mediante un cuestionario piloto, (o en su defecto mediante estimaciones basadas en un conocimiento previo del problema bajo estudio).

En la Figura 9 se muestran los resultados que demuestran esta afirmación. Se construyen dos cuestionarios mediante el algoritmo descrito anteriormente: el que se representa en superficie rayada es el diseñado suponiendo pesos nulos para todos los atributos del cuestionario, y el de superficie sólida el diseñado incluyendo pesos para los atributos obtenidos de las respuestas de los transportistas a un cuestionario piloto. El D-Error para el calculado con pesos nulos es 0.02806 y para el de pesos piloto 0.04436 (+58%) En principio utilizaríamos el primer cuestionario en nuestro experimento, pero analicemos antes la figura siguiente.

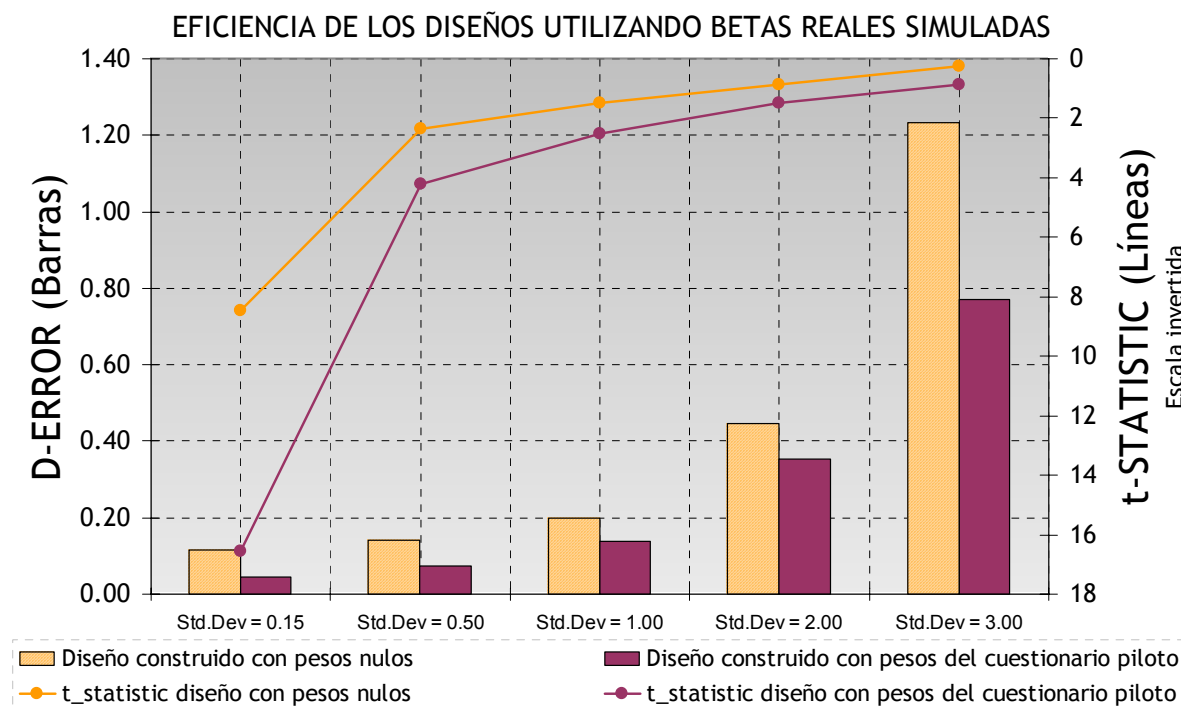


Figura 9

Al proceder con un pequeño cuestionario piloto con pocos transportistas a la estimación de los pesos de los atributos, se tiene una aproximación a los pesos reales obtenidos cuando respondan todos los transportistas. Para cuantificar este grado de aproximación se crean cinco

posibles distribuciones aleatorias vectoriales de tipo normal, todas centradas en el vector de pesos calculados mediante el cuestionario piloto y con diferentes desviaciones estándar ($0.15 \times VM$, $0.50 \times VM$, $1.00 \times VM$, $2.00 \times VM$ y $3.00 \times VM$), siendo VM el vector de valores absolutos de los pesos piloto. La distribución con menor desviación estándar representa el caso para el que los valores reales estimados de los pesos se parecen bastante a los estimados por el cuestionario piloto y el caso con desviación estándar tres representa el caso para el que los transportistas que responden al cuestionario piloto representan peor al conjunto total de transportistas.

Pues bien, en la Figura 9 se representa la eficiencia global de los dos cuestionarios citados (construido uno utilizando pesos nulos y otro los pesos piloto) medida sobre las distribuciones de pesos reales del párrafo anterior. Por ejemplo, para el caso de la primera distribución de pesos reales (con media el vector de pesos piloto y varianza para cada peso de 0.15 veces el valor absoluto del peso) se toman 4000 observaciones del vector de pesos y se realiza una medida de la eficiencia del diseño de cada cuestionario sobre cada vector; el resultado serán 4000 medidas del D-Error para cada diseño, del que se representan en la Figura 9 su media y su variación (a través del t-estadístico) para los dos diseños. Del análisis de los resultados de la Figura 9 se concluye con claridad que el diseño calculado con pesos no nulos (superficies sólidas) tiene una probabilidad mucho más alta de ofrecer mejores valores de la eficiencia global que un cuestionario construido con pesos nulos, pese a que la eficiencia medida en los pesos respectivos con los que se diseña el cuestionario sea un 58% menor en el primer caso.

5. Conclusiones

Para recoger información eficientemente de un grupo de individuos mediante la utilización de diseños de elección discreta, será necesario prestar especial interés al diseño del cuestionario. Al igual que la ortogonalidad ha sido tradicionalmente un criterio de diseño de experimentos para aplicación de modelos de regresión, existen cuatro criterios de eficiencia que será necesario cumplir en experimentos de elección discreta: además de la ortogonalidad y el equilibrio de niveles de los atributos, el equilibrio de utilidades y la mínima coincidencia de niveles.

La utilización de cuestionarios piloto más pequeños que el cuestionario final contribuye a solucionar en parte la naturaleza algorítmica del proceso de diseño de experimentos, mostrándose esta forma de construcción de cuestionarios mucho superior a la del uso de pesos nulos.

Aplicaciones de este tipo para diseñar una correcta metodología de recogida de información de los transportistas acerca de soluciones de logística urbana, será interesante repetirla para otros grupos de actores involucrados en el reparto de mercancías en (comerciantes, Administración, residentes, etc.) y confeccionar para cada solución logística (reparto conjunto, etc.) un vector de utilidad que refleje el impacto de la solución en cada grupo de actores.

Referencias

- [1]. Addelman, S., (1962a) "Symmetrical and Asymmetrical Fractional Factorial Plans", *Technometrics*, 4 (1), 47-58.

- [2]. Addelman, S.,(1962b) “Orthogonal Main-Effect Plans for Asymmetrical Factorial Experiments”, *Technometrics*, 4 (1), 21-46.
- [3]. Ben-Akiva, M., Lerman, S.R., (1985) “Discrete Choice Analysis”, *The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, USA*.
- [4]. Bunch, D., Louviere, J., Anderson, D., (1996) “A Comparison of Experimental Design Strategies for Choice-Based Conjoint Analysis with Generic-Attribute Multinomial Logit Models”, *Working Paper, Graduate School of Management, University of California at Davis*.
- [5]. Federov, V. V., (1972) “Theory of Optimal Experiments”, *Traducido y editado por W. J. Studden y E. M. Klimko, New York: Academic Press*.
- [6]. Greene, W.H., (2003) “Econometric Analysis”, *Englewood Cliffs, N.J. Prentice Hall, 5th edition*.
- [7]. Huber, J., Zwerina, K., (1996) “The Importance of Utility Balance in Efficient Choice Designs”, *Journal of Marketing Research*, 33, pp. 307-17.
- [8]. Ibáñez, J.N., (2002) “Modelos de Elección Discreta para la Logística Urbana de Mercancías en Sevilla”, *Proyecto 2942, Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla*.
- [9]. Larrañeta, J., Muñuzuri, J., Ibáñez, J.N., (2002) “Notas sobre Modelos de Elección Discreta”, *Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla*.
- [10]. LIMDEP v.8.0., (2003) Econometric Software, *William Greene, 15 Gloria Place Plainview, New York 11803*.
- [11]. McFadden, D., (1974) “Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behavior”, *Frontiers of Econometrics, P. Zarembka, Ed., Academic Press*.
- [12]. McFadden, D. (2001), “Nobel Prize in Economics Lecture: Economic choices”, *American Economic Review* 91, 351–378.
- [13]. Montgomery D. (1976) “Design and analysis of experiments” *New York, John Wiley and Sons*
- [14]. Muñuzuri, J., (2003) “Logística Urbana de Mercancías: Soluciones, Evaluación e Implantación”, *Tesis Doctoral, Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla*.
- [15]. Winer B.J., Brown D.R., Michels K. M. (1991) “Statistical principles in experimental design” *New York, McGraw-Hill*
- [16]. Zwerina, K., Huber, J., Kuhfeld, W.F., (1996) “A General Method for Constructing Efficient Choice Designs”, *SAS Institute Inc.*
- [17]. Zwerina, K., (1997) “Discrete Choice Experiments in Marketing: Use of Priors in Efficient Choice Designs and Their Application to Individual Preference Measurement”, *Published by Springer Verlag. ISBN: 3790810452*