

## Trabajos

---

# Alternativas para el análisis de resultados de diseños robustos. Una aplicación a un sistema recomendador de turismo

---

RECIBIDO: 29/05/2009

ACEPTADO: 15/09/2009

Pagura, J. • Puigsubirá, C. • Casali, A.<sup>1</sup> • Borra, V.

Instituto de Investigaciones Teóricas y Aplicadas de la Escuela de Estadística. Facultad de Ciencias Económicas y Estadística. Universidad Nacional de Rosario. Bvrd. Oroño 1261. 2000 Rosario, Santa Fe, Argentina. Tel: (0341) 480 2793 int.151. E-mail: cpuigsu@fcecon.unr.edu.ar

<sup>1</sup>Departamento de Sistemas e Informática de la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura - Universidad Nacional de Rosario. Argentina

**RESUMEN:** Actualmente, se sostiene que la calidad de un producto debe introducirse en la fase de diseño del mismo. Para ello, se busca encontrar aquellas características que conduzcan al desempeño correcto en cualquiera de los contextos en los que se utilice, propiedad conocida como robustez, y es el diseño de experimentos una herramienta fundamental para lograrla. Genichi Taguchi fue el primero en abordar esta problemática, definiendo los conceptos de factores de control y de ruido y planteando una forma particular de diseñar y analizar un experimento teniéndolos en cuenta. Sus propuestas fueron posteriormente cuestionadas, proponiéndose métodos basados en enfoques que buscan un mayor aprovechamiento de la información y una reducción en el número de pruebas a realizar. En este trabajo, se presentan los resultados del estudio de efectos de factores

de control y ruido sobre un Sistema Recomendador de Turismo, por medio de diferentes estrategias, evidenciando ventajas y desventajas de las mismas.

**PALABRAS CLAVE:** Diseño Robusto, Factores de control y de ruido, Sistemas Recomendadores.

**SUMMARY:** *Alternatives for the analysis of results of robust designs. An application for a recommended system of tourism.*

Nowadays, it is asserted that product quality should be introduced at the design stage. To do this, it is necessary to find those characteristics which lead to proper performance in any of the contexts in which the product is used, property known as robustness. Experiment design is a fundamental tool to achieve robustness. Genichi Taguchi was the first author to address this problem by defining the concepts of control factors and noise and

by setting out a particular way of designing and analyzing an experiment taking them into account. His proposals were later questioned later, and other methods were proposed based on approaches looking for a better use of information and a reduction in the number of trials to be performed.

In this paper, we present the results of the effects of control and noise factors on a Recommender System for Tourism, through various strategies, highlighting their advantages and disadvantages.

**KEYWORDS:** robust design; control and noise factors; recommender system.

---

## 1. Introducción

Internet y la Web han abierto un mundo de muchísimas posibilidades: sitios interactivos para experimentar, música para escuchar, chats o foros en los que se puede participar, una gran gama de productos disponibles para la compra. Pero este vasto mundo también plantea el problema de como encontrar lo que se busca en medio de una cantidad enorme de información. Dentro de la Inteligencia Artificial se viene trabajando en los últimos años en el desarrollo de sistemas recomendadores que asistan a los usuarios a encontrar lo que desean, especialmente en la Web. Estos sistemas se implementan utilizando distintas técnicas y tienen el propósito de buscar los elementos más adecuados a las preferencias de un usuario.

En la actualidad, se trabaja sobre diferentes arquitecturas de sistemas de software que den soporte a estos sistemas recomendadores. En particular, investigadores del Departamento de Sistemas e Informática de la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura de la Universidad Nacional de Rosario trabajan en el desarrollo de un modelo de agente (programas con propiedades particulares) denominado Modelo BDI Graduado. Las siglas BDI corresponden a Beliefs, Desires, Intentions y a esta clase de modelos se los designa con la abreviatura g-BDI. Estos, pueden dar soporte a las

aplicaciones mencionadas, y constituir una alternativa eficiente frente a los modelos de agentes BDI clásicos.

Como un caso de estudio y para experimentar la arquitectura BDI Graduado, en el Departamento mencionado se ha desarrollado un sistema recomendador aplicado al turismo argentino (1) al que se llamará T-Agent. Este sistema pretende recomendar los mejores paquetes turísticos con destinos argentinos, de acuerdo a la oferta brindada por diferentes proveedores, y considerando las preferencias de un usuario.

La experimentación del modelo g-BDI a través de este caso de estudio se planteó en dos sentidos. El primero intenta realizar un "análisis de sensibilidad" por cuanto tiene el propósito de analizar como esta arquitectura puede modelar agentes concretos que tengan diferencias en sus comportamientos a partir de la modificación de alguna de sus componentes. Con este objetivo se desarrollaron dos versiones que, en este trabajo, se designan como 1 y 2 (2). En segundo lugar, se busca verificar que la mejora que produciría la característica distintiva del modelo g-BDI, la cual es, la graduación de sus creencias (B), deseos (D) e intenciones (I), con respecto a los modelos BDI no graduados obtenidos a partir del desarrollo original, denominados umbrales y también en sus variantes 1 y 2. Desde el punto de vista del diseño de experimentos, que es el

método elegido para realizar el estudio de los sistemas, los aspectos mencionados constituyen dos factores cuya influencia sobre el comportamiento de los sistemas, se desea estudiar.

El comportamiento deseado para estos sistemas, es proporcionar sugerencias que satisfagan los requisitos de los usuarios. El desempeño de los mismos podrá ser juzgado entonces, por el grado de acuerdo que se encuentre entre las respuestas dadas por el sistema que se estudia y las expectativas del usuario, acuerdo que deberá cuantificarse por medio de una adecuada medida de distancia.

Así como se espera que los factores considerados provoquen un efecto en el desempeño de los sistemas, podría haber otro conjunto de factores que puede influir en el comportamiento de los mismos. Estas fuentes de variación no se controlaron en la fase de diseño de los sistemas, pero podrían ser causantes de cambios en el rendimiento al momento de la utilización del mismo. Un ejemplo de estas causas son las características de los usuarios tales como la edad, sexo y con quien desean viajar. Sin embargo, es de interés, estudiar la influencia de estos factores sobre el grado de acuerdo entre los resultados proporcionados por el programa y los requisitos planteados por el usuario. En este caso el objetivo será encontrar aquellas condiciones definidas por los factores controlables en el diseño, que permitan obtener un programa cuyos resultados estén afectados de la menor manera posible por los factores incontrolables. Un producto con tales características se conoce como un producto "robusto".

Una de las soluciones más usuales para diseñar un experimento y analizar los datos por él provistos, en situaciones como la descripta, es la aplicación de la metodo-

logía planteada por Taguchi (3,4). En esta propuesta las fuentes de variación se clasifican en dos grupos: "factores de control" que son aquellos que se pueden controlar en el diseño de un producto, y "factores de ruido", que son aquellos que no pueden controlarse en la etapa de diseño del producto pero que aparecen como fuente de variación en otros momentos como puede serlo en el uso del producto. Luego se construyen dos planes experimentales: uno para los factores de control designado en este contexto como "inner array" con  $N_c$  tratamientos y otro para los de ruido, "outer array" con  $N_r$  tratamientos. Se ensaya cada tratamiento definido en el "inner array" en combinación con cada uno de los definidos en el "outer array". La variable respuesta que se utiliza es una estadística llamada ratio señal-ruido también reconocida bajo las siglas SNR (Signal-Noise Ratio) calculada para cada tratamiento del "inner array" a través de las  $N_r$  condiciones definidas por el "outer array". El análisis de los datos se hace empleando un ANOVA sobre SNR y sobre el valor medio de la variable que se estudia, para los  $N_c$  tratamientos.

Esta metodología ha sido aceptada e incorporada en el ámbito de la industria por la sencillez de aplicación y eficiencia para el alcance de los objetivos de obtener condiciones robustas ante los factores de ruido. Sin embargo, en los últimos años la misma ha sido objeto de diversos cuestionamientos (5) por la pérdida de información en la que se incurre.

A partir de estas observaciones se han planteado otras formas de estudiar el comportamiento de una variable respuesta ante factores de control y de ruido. Una de ellas, parte del mismo diseño experimental propuesto para la aplicación de la metodología de Taguchi, analiza y modela por separado el

valor medio y la variabilidad. Una vez construidos los modelos que describen las relaciones entre los factores y estas variables respuesta, se buscan las condiciones óptimas que proporcionan el mejor valor medio de la respuesta y la menor variabilidad. La otra alternativa, consiste en emplear un diseño factorial en el que no se diferencian los factores de control y de ruido, pero se busca una fracción factorial que permita estimar: los efectos principales de los factores de control, de ruido, y las interacciones dobles entre factores de control y la de éstos con los de ruido (6,7).

El presente trabajo recoge los resultados obtenidos del estudio experimental destinado a evaluar el comportamiento de los sistemas mencionados considerando la influencia de dos factores de control y tres de ruido. Se utiliza un diseño cruzado de Taguchi, pero el análisis de los datos se realiza de acuerdo a las tres propuestas mencionadas intentando poner en evidencia las ventajas y desventajas de las mismas.

Por último, se realizan comentarios acerca de la conveniencia de considerar propuestas más recientes basadas en la teoría de diseños óptimos (8,9).

## 2. Material y metodos

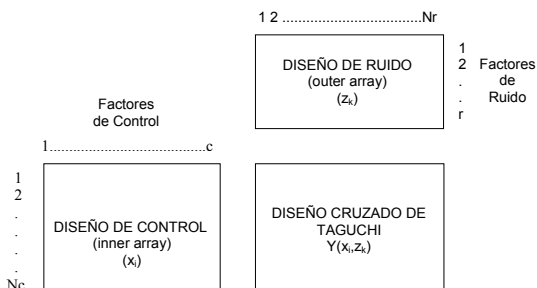
En este apartado se presenta una descripción sucinta de los métodos que se emplearon en el diseño del experimento y en el análisis de los resultados para luego exponer el diseño experimental utilizado y los procedimientos para la recolección de la información necesaria.

### Método de Taguchi

La metodología de Taguchi (3,4) presenta como particularidad la distinción de los factores cuya influencia sobre una variable respuesta se estudia, en factores de control y de ruido. Los de control son aquellos pará-

metros del producto que pueden ajustarse en la fase de diseño para lograr los resultados adecuados. Los de ruido son causas de variabilidad que pueden influir en los resultados pero que no pueden controlarse en dicha fase de elaboración del producto y que por lo general aparecen en la utilización del mismo. Otro concepto clave en las ideas de Taguchi es el de robustez. Un producto es robusto si su comportamiento en condiciones de uso se encuentra poco afectado por los factores de ruido. La estrategia de experimentación y análisis que tiene por objetivo obtener un producto o proceso robusto se la conoce como diseño robusto de parámetros. Esta propuesta se basa en el uso de un diseño ortogonal con  $N_c$  tratamientos definidos a a partir de "c" factores de control, diseño denominado "de control" o "inner array", tratamientos que se "cruzarán con  $N_r$  tratamientos que corresponden a un diseño ortogonal construido con los factores de ruido, conocido como "outer array" (Figura 1). Si se sigue este procedimiento se deberán realizar  $N_c \times N_r$  ensayos. Con el fin de que dicho número sea reducido, Taguchi propone emplear fracciones factoriales en ambos diseños y en particular sugiere la utilización de los Orthogonal Array por él definidos. A esta clase de estrategia experimental se la llama diseño cruzado de Taguchi.

Figura 1: Diseño Cruzado de Taguchi



El análisis de los resultados se realiza resumiendo las observaciones de cada tratamiento del "inner array" por medio de una estadística llamada ratio señal-ruido (SNR), la que se utilizará como variable respuesta en un ANOVA. Esta medida resumen se define de diferentes formas de acuerdo al objetivo que se tiene para la variable respuesta. Los criterios considerados para la respuesta son:

1. Cuanto menor mejor. En este caso el experimentador desea minimizar el valor de la variable respuesta.

$$SNR_s = -10 \log \sum_{j=1}^{Nr} \frac{y_{ij}^2}{n}$$

2. Cuanto mayor mejor. En este caso el experimentador desea maximizar el valor de la variable respuesta.

$$SNR_t = -10 \log \sum_{i=1}^{Nr} \frac{(1/y_{ij})^2}{n}$$

Donde :

3. El objetivo es el mejor. El experimentador desea lograr un valor objetivo particular de la variable respuesta.

$$SNR_r = 10 \log \left( \frac{\bar{Y}^2}{S^2} \right)$$

Donde:

$y_{ij}$  es la observación de la variable respuesta para el  $i$ -ésimo tratamiento definido para los factores de control y el  $j$ -ésimo tratamiento de los factores de ruido.

$\bar{Y}_i$  es la media para cada condición experimental de los factores de control a lo largo de los factores de ruido.

$S_i^2$  es la variancia para cada condición experimental de los factores de control a lo largo de los factores de ruido.

En general la SNR se utiliza junto a la media de la respuesta en cada condición experimental de los factores de control, debido a

que interesa conocer también el comportamiento de la localización. La optimización de los valores de los factores de diseño se resuelve en dos etapas:

1) Determinar los factores que afectan a la SNR y escoger los niveles que la maximizan.

2) Seleccionar algún factor que, teniendo influencia sobre el nivel de la respuesta tenga un efecto lo menor posible sobre la SNR. Éste será el factor que se utilizará para llevar la respuesta al nivel deseado.

Los resultados se complementan con la representación gráfica de SNR versus los niveles de cada uno de los factores de control y los valores medios calculados a través de los factores de ruido, versus los niveles de los factores de control. Éstos gráficos son apropiados para seleccionar condiciones óptimas si se está dispuesto a suponer que no existen interacciones significativas entre los factores de control. Esta suposición es válida en ciertas áreas de aplicación, pero hay muchas otras en las cuales las interacciones hacen una importante contribución en cualquier intento de modelización.

Esta es una fuente de crítica a la metodología sugerida por Taguchi, ya que gran parte de los diseños sugeridos por él son saturados o casi saturados. Una recomendación apropiada de este autor es que antes de dar por bueno el resultado obtenido se debería realizar una serie de experimentos para confirmar que las condiciones obtenidas como óptimas son efectivamente las mejores.

El propósito de la SNR en la aproximación de Taguchi para diseños robustos de parámetros es proveer un criterio fácil de usar que tenga en cuenta la media y la variancia del proceso. Sin embargo diversos autores han sugerido el uso de modelos separados para la media y la variancia como un camino de lograr una mejor comprensión del comportamiento del mismo.

### Modelado de la media y de la varianza

Una propuesta alternativa (6,7), está basada en el análisis directo de la matriz producto de Taguchi. Estudia, en cada condición de los factores de control, el valor esperado de la respuesta y la variabilidad debida a los factores de ruido. Se resume la información a través de las condiciones de ruido. El análisis de los resultados se realiza con cualquiera de los métodos estándares del diseño de experimentos.

Se estiman dos modelos por separado, uno para la media y otro para la variabilidad (log(s) para estabilizar la medida de la variabilidad).

$$E(Y) = \beta_0 + \sum_{i=1}^c \beta_i X_i + \sum_{i \neq j} \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon \quad i, j = 1, \dots, c$$

$$\log(\sigma) = \beta_0^* + \sum_{i=1}^c \beta_i^* X_i + \sum_{i \neq j} \beta_{ij}^* X_i X_j + \varepsilon \quad i, j = 1, \dots, c$$

Donde:

$\beta_i$  coeficientes que reflejan los efectos principales de los factores de control,

$\beta_{ij}$  coeficientes que reflejan las interacciones entre los factores de control,

$X_i$  representan los niveles de los factores de control.

Se estiman los efectos para cada uno de los modelos y luego del análisis de la significación de los mismos se obtiene una primera aproximación lineal en la zona de experimentación para la media y la varianza. Luego de la verificación de los supuestos acerca del comportamiento de los residuos se procede a seleccionar aquellos niveles que optimicen las dos funciones.

### Método de la Matriz Ampliada

La obtención de las condiciones de robustez se basan en el conocimiento que se tenga del comportamiento de las interacciones entre los factores de control y de ruido. Resulta útil entonces plantear un modelo que tiene en cuenta dichas interacciones y construir un plan experimental que permita la estimación del mismo. El método de la matriz ampliada (6,7) plantea la construcción de un diseño que combina los factores de control y de ruido en un única matriz, permitiendo estimar un modelo del tipo:

$$E(Y) = \beta_0 + \sum_{i=1}^c \beta_i X_i + \sum_{i \neq j} \beta_{ij} X_i X_j + \sum_{k=1}^r \beta_k Z_k + \sum_{k \neq l} \beta_{kl} Z_k Z_l + \sum_{i=1}^c \sum_{k=1}^r \beta_{ik} X_i Z_k + \varepsilon \quad i, j = 1, \dots, c; \quad k, l = 1 \dots r$$

Los efectos estimados a partir de este modelo se pueden clasificar en tres grupos:

1. El primer grupo incluye los factores de control y sus interacciones. Aquellos efectos encontrados como significativos dan información sobre la influencia en la respuesta media se éstos.

2. El segundo grupo incluye factores de ruido y las interacciones entre ellos. Los efectos encontrados como significativos dan información de los factores de ruido que influyen sobre la respuesta media.

3. El tercer grupo incluye interacciones entre factores de control y ruido. Aquellos efectos encontrados como significativos dan información de qué factores de control deben seleccionarse para que la variabilidad transmitida por los factores de ruido sea mínima. Además se pueden identificar los factores de ruido que causan dicha variabilidad.

### Operación del sistema

En primer lugar es necesario describir la forma en la que se opera con los programas en

estudio. El usuario, interesado en obtener una oferta turística satisfactoria indica al programa T-Agent sus preferencias acerca de siete items y expresa restricciones en tres cuestiones (costo, distancia a recorrer y número de días que durará el viaje). Luego, T-Agent indicará nueve paquetes turísticos posibles con información de cada uno de ellos. El usuario indicará su satisfacción con la oferta eligiendo entre los paquetes ofrecidos, tres de ellos si es que hay esa cantidad de propuestas que él acepta. La diferencia entre el orden que el usuario da a las propuestas y el orden en el que aparece en la lista brindada por el programa, reflejará el grado de acuerdo entre lo que el usuario desea y lo que el sistema propone. La medida a emplear para evaluar este grado de acuerdo será la distancia de Manhattan (2) y ésta será la variable respuesta en el diseño experimental. Es evidente que a menores valores de dicha distancia, mayor será el acuerdo entre la propuesta del sistema y los requerimientos del usuario.

Cabe aclarar que en condiciones de uso del sistema, los paquetes turísticos a ofrecer y sus particularidades, serán recolectadas de la Web por el mismo sistema. Para la experimentación

se utilizará una oferta de 40 paquetes entre los cuales T-Agent elegirá algunos de acuerdo a las condiciones que se establezcan.

### El diseño experimental

Para el estudio de la influencia de factores sobre la variable respuesta ya definida, se plantea un diseño cruzado de Taguchi con los siguientes factores:

#### 1. Factores de control

- Modelo de agente, cuyas variantes son g-BDI (Graduado) y BDI (No Graduado)
- Versión, cuyas variantes son 1 y 2

#### 2. Factores de ruido

- Sexo, con las variantes M (Masculino) y F (Femenino)
- Edad, factor a tres niveles: -1 (menor de 35 años), 0 (entre 35 y 55 años), 1 (mayor de 55 años)
- Viaja (Con quien), también con tres variantes, las cuales son: A (viaja con amigos), P (viaja con pareja), F (viaja con familia)

El inner array es un factorial completo, por lo que quedan definidos 4 tratamientos y el outer array se construye a partir de un  $L_9^2$ , adaptándolo a la situación del estudio (10). De esta forma se define la realización de 36 pruebas.

**Tabla 1:** Matriz de diseño

Sexo	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Edad	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
viaja	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Modelo de agente	Versión								
Graduado	1	X	X	X	X	X	X	X	X
Graduado	2	X	X	X	X	X	X	X	X
No Graduado	1	X	X	X	X	X	X	X	X
No Graduado	2	X	X	X	X	X	X	X	X

2.  $L_9$  hace referencia a un diseño conocido como Orthogonal Array propuesto por Genichi Taguchi para estudiar efectos de hasta 4 factores con tres niveles

### El relevamiento de la información<sup>3</sup>

El proceso de recolección de los datos necesarios se llevó a cabo de acuerdo a las siguientes pautas:

1. Se seleccionaron 36 posibles usuarios que respondían a las características definidas en cada tratamiento

2. Se procedió a entrenar a dos entrevistadoras para que asesoraran a los usuarios en el empleo del programa

3. Usuario y entrevistador, ingresaron al programa que se les había asignado aleatoriamente. Cada usuario expresó sus preferencias y restricciones, T-Agent ofertó nueve paquetes turísticos y por último, el usuario indicó el grado de acuerdo con la oferta

### 3. Resultados

A partir de la recolección de la información se aplicaron las propuestas enunciadas en el ítem anterior. Los resultados obtenidos se presentan y se comentan en los párrafos siguientes.

#### Método de Taguchi. Uso del ratio señal ruido (SNR)

Dado que el objetivo del experimento es minimizar la variable respuesta, es decir obtener la distancia mínima, se utiliza el criterio de cuanto menor mejor (SNRs). Se obtienen los ratios señal ruido para cada condición experimental de los factores de control a través de los factores de ruido. (Tabla 2)

**Tabla 2.** SNRs para cada tratamiento del inner array

Modelo de agente	Versión	SNRs
Graduado	1	-21.6432
Graduado	2	-17.3772
No Graduado	1	-27.1730
No Graduado	2	-22.3271

El efecto de los factores se estudia realizando un ANOVA en el cual se excluye el efecto de la interacción por falta de grados

de libertad para probar la significación estadística del mismo.

**Tabla ANOVA**

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P
Modelo de Agente	1	27,4560	27,4560	326,58	0,035*
Versión	1	20,767	20,7567	246,89	0,040*
Error	1	0,0841	0,0841		
Total	3	48,2968			

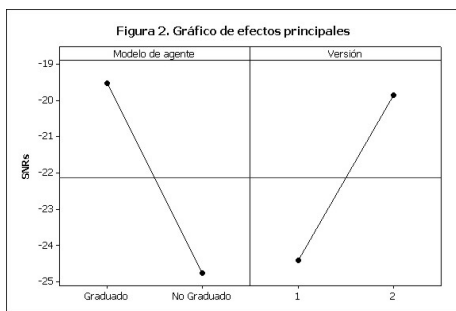
3. Agradecemos la colaboración en esta etapa del experimento a las alumnas Lucía Hernández y Paula Galán



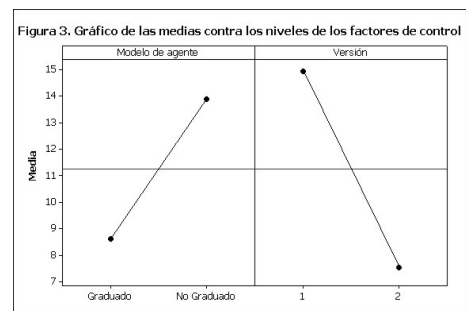
De la tabla ANOVA se desprende que son estadísticamente significativos ambos efectos, Modelo de Agente y Versión, evidenciando la diferencia que existe entre los Modelo de Agente Graduado y No Graduado y entre las versiones 1 y 2. Es claro a

partir de las figuras 2 y 3 que las condiciones robustas, es decir, aquellas condiciones que son más insensible a los cambios en las variables de ruido son el Modelo de Agente en su variante Graduado y la versión, a nivel 2

**Figura 2:** Gráfico de los efectos principales.



**Figura 3:** Gráfico de las medias contra los niveles de los factores de control.



### Análisis de los resultados utilizando la Matriz producto

Para cada condición experimental de los factores de control se halla la media y una me-

didada de la variabilidad, log (desvío estandar), a través de las condiciones de ruido. (Tabla 3).

**Tabla 3:** Medias y Log(s) para cada tratamiento del inner array

Modelo de agente	Versión	Media	Log (s)
Graduado	1	11.22	<b>0.68753</b>
Graduado	2	6.00	0.66087
No Graduado	1	18.67	1.14489
No Graduado	2	9.11	0.99739

Se estiman los parámetros del modelo para la media y para la variabilidad utilizando un diseño factorial 2<sup>2</sup>. Se presentan los re-

sultados solo para la variabilidad, dado que cuando se modela la media no se obtienen efectos significativos (Tabla 4, ANOVA 2).

### Modelo para la variabilidad

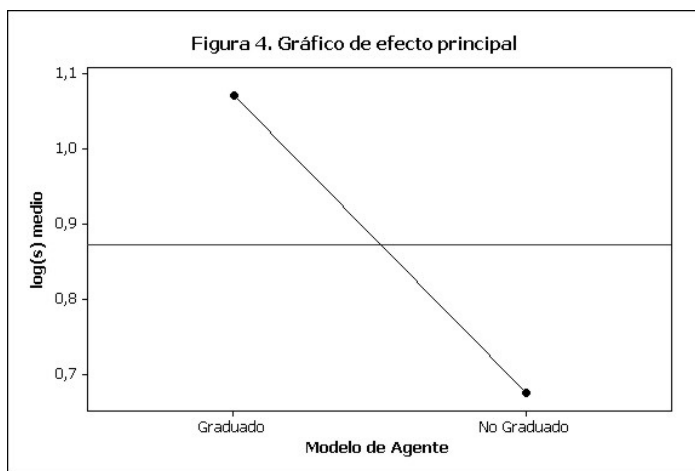
Término	Efecto	Coef	T	P
Constant		0,87267	28,89	0,022*
Modelo de Agente	0,39694	0,19847	6,57	0,096
Versión	-0,08708	-0,04354	1,44	0,386

### Tabla ANOVA

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P
Modelo de Agente	1	0,157560	0,157560	43,16	0,096*
Versión	1	0,007583	0,007583	2,08	0,386
Error	1	0,003650	0,003650		
Total	3	0,168794			

$$\hat{\text{Log}}(\sigma) = 0.87267 + 0.19847 \text{ Modelo de Agente}$$

Figura 4: Gráfico de efecto principal



El objetivo es obtener un sistema recomendador de turismo con una distancia lo más robusta posible ante la influencia de los factores de ruido. Es decir que la variabilidad de la dis-

tancia sea mínima. De la Figura 4 se puede observar que la variabilidad mínima se obtiene con el Modelo de Agente Graduado.

### Análisis de los resultados utilizando la Matriz Ampliada

Los métodos planteados anteriormente no incluyen las interacciones de factores de control con factores de ruido, las cuales son importantes para obtener aquellas condiciones de los factores de control insensibles a la variabilidad de los factores de ruido. Para que estas interacciones puedan ser analiza-

das, se ordenan las condiciones experimentales de la matriz producto en una matriz única de un diseño factorial  $2^2 \times L_9$  con cinco factores en 36 pruebas.

Este diseño permite estimar los cinco efectos principales y las interacciones dobles entre factores de control y ruido y la interacción entre los dos factores de control, resultando el siguiente ANOVA.

Tabla ANOVA 3

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P
Modelo de Agente	1	250.69	238.35	3.11	0.096*
Versión	1	491.36	583.68	7.61	0.013
Sexo	1	55.13	55.13	0.72	0.408
Edad	2	442.17	221.08	2.88	0.084*
Viaja	2	94.50	47.25	0.62	0.552
Model del Agente*Versión	1	42.25	42.25	0.55	0.468
Model del Agente*Sexo	1	2.35	2.35	0.03	0.863
Model del Agente*Edad	2	661.06	330.53	4.31	0.031*
Model del Agente*Viaja	2	43.06	21.53	0.28	0.759
Versión*Sexo	1	95.68	95.68	1.25	0.280
Versión*Edad	2	5.39	2.69	0.04	0.966
Versión*Viaja	2	2.72	1.36	0.02	0.982
Error	17	1304.40	76.73		
Total	35	3490.75			

Figura 5: Gráfico de efecto principal

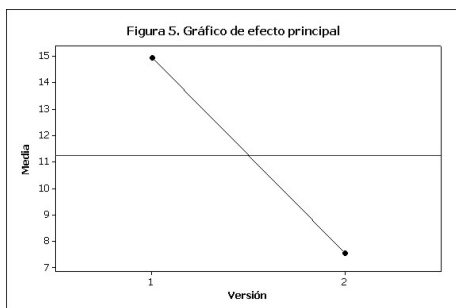
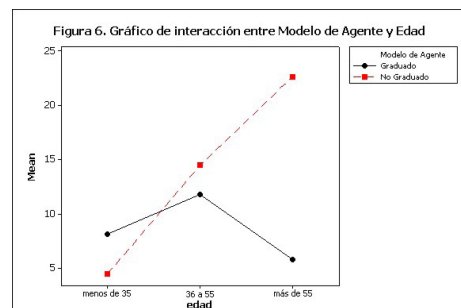


Figura 6: Gráfico de interacción entre Modelo de Agente y Edad.



A partir de los resultados del ANOVA puede observarse que los efectos principales de los factores de Control: Modelo de Agente y Versión, son estadísticamente significativos ( $p < 0.1$ ), no así la interacción entre ellos ( $p > 0.1$ ).

En cuanto a las interacciones entre los factores de control y de ruido, únicamente se encuentra que es estadísticamente significativa la que incluye a los factores edad y Modelo de Agente ( $p = 0.031$ ).

Observando las figuras 5 y 6 que muestran estos efectos se encuentra que:

1. El Modelo de Agente Graduado proporciona menores valores medios de la distancia entre la oferta de T\_agent y la solicitud del usuario.

2. La Versión 2 da mejores resultados que la 1, ya que puede observarse que el valor medio de la distancia obtenida para los usuarios que utilizan esta opción es menor que para la correspondiente a la Versión 1.

3. La interacción Modelo de Agente-Edad muestra que el Modelo no Graduado proporciona resultados muy diferentes de acuerdo a la edad del usuario, presentando un buen desempeño en el grupo de edad "menor de 35 años" y un mal desempeño en los dos restantes.

En cuanto al Modelo Graduado presenta resultados parecidos para los diferentes grupos de edad. Mediante un análisis de la variancia se probó la significación estadística de la igualdad de éstos promedios.

Por los motivos expuestos, el Modelo de Agente recomendado es el Graduado Versión 2, ya que presenta mejores resultados y un comportamiento homogéneo para los distintos grupos etarios considerados, evidenciando robustez.

#### 4. Comentarios finales

Los tres métodos de análisis que se emplearon dieron el mismo resultado en cuanto a las características del Modelo de Agente a elegir, Graduado, y Versión 2. Sin embargo ellos difirieron en cuanto a la riqueza de los resultados:

- El método de Taguchi permitió decidir cual es el producto con mejor desempeño. El mismo es simple en su aplicación, característica que define su amplia difusión, pero evidentemente limitado en sus resultados.

- El segundo método empleado, el que se llamó "matriz producto", se basa en la modelización de la media y la variabilidad. Este análisis condujo a la misma elección que el anterior, conclusión a la que se llega analizando por separado los efectos de los factores de control sobre la media y la variabilidad calculados a través de los factores de ruido. Esta forma de análisis permite una mejor comprensión del comportamiento de los efectos de los factores.

- El método de la matriz ampliada brindó mayor información que los demás, pero la extracción de la conclusión correcta depende del analista.

Este método permite evaluar no sólo la significación estadística de los efectos de los factores de control, sino que además posibilita el estudio de las interacciones entre los de control y de ruido, lo que es fundamental en los estudios en los que se busca encontrar condiciones robustas.

El análisis a diferencia de los anteriores evidencia la no existencia de interacción entre los factores de control y la existencia de interacción entre Modelo de Agente y Edad, conocimiento que permitió encontrar las condiciones robustas y a la vez, la comprensión del funcionamiento del producto en presencia de factores de ruido.

Una particularidad del estudio llevado a cabo es que el producto cuyo rendimiento se estudia es un programa de computación que reside en un sitio web. Esta situación es similar a aquella en la cual se construye un prototipo para cada tratamiento definido por los factores de control. En esos casos, debería considerarse la posibilidad de que los distintos resultados obtenidos para cada combinación de los niveles de los factores de ruido y en un mismo prototipo no fuesen independientes, lo que ocurriría si el producto sufriera desgaste o alguna modificación como consecuencia de su uso. En el experimento presentado en este trabajo puede considerarse que todas las observaciones son independientes ya que dos programas idénticos (por ejemplo copiados) presentarán los mismos resultados ante los mismos requerimientos independientemente del número de veces que haya sido utilizado.

En el caso en que las observaciones estuviesen autocorrelacionadas, se podrían utilizar como alternativas un diseño split-plot, u otras métricas resumen conocidas como Per-Mía ("Performance Measure Independent of Adjustment").

Por último, en casos como el estudiado, el uso de la matriz ampliada –la mejor de las alternativas consideradas– puede conducir a la necesidad de realizar un gran número de ensayos. Frente al inconveniente que esto puede producir, Romero (8,9), enuncia propuestas basadas en la teoría de Diseño Óptimo, con la finalidad de lograr la misma calidad de información con un número menor de pruebas. Esta metodología, que aún no ha tenido la divulgación merecida, esta siendo analizada y probada por los autores del presente trabajo.

## Bibliografía

1. Casali A., Godo L. and Sierra C. (2006) "Modeling Travel Assistant Agents: a graded BDI Approach. IFIP-AI, WCC. Artificial Intelligence in Theory and Practice., Max Bramer (Ed.), 415-424 Springer Verlag.
2. Casali, A.; Saura, S.; Godo, L and Sierra, C, (2008)," Validation and Experimentation of a Tourism Recommender Agent based on a Graded BDI Model",XXXIV Conferencia Latinoamericana de Informática (CLEI 2008), pp. 30-39, Santa Fe, Argentina.
3. Myers, R. H. and Montgomery, C. D. (2002), "Response Surface Methodology Process and Product Optimization Using Designed Experiments". A Wiley-Interscience Publication. John Wiley & Sons, Inc.
4. Box, G.E.P. (1988), "Signal-to-noise ratios, performance criteria and transformations", Technometrics, 30, pp. 1-40
5. Nair, V. N. (1992), "Taguchi's Parameter Design: A Panel Discussion", Technometrics, 34, pp.127-161
6. Pozueta, L. (2001), "Errores en la Búsqueda de Condiciones Robustas, Metodología para Evitarlos", Tesis doctoral Universidad Politécnica de Cataluña, España.
7. Prat Bartés, A. ; Tort-Martorell Llabrés, X. ; Grima, P. ; Pozueta, L. (1999), "Métodos Estadísticos. Control y Mejora de la Calidad". Ed. UPC Universidad Politécnica de Cataluña.
8. Romero Zúnica, Rafael (2002), Planes Experimentales Ds-Óptimos en Diseño Robusto de Parámetros, Tesis doctoral Universidad Politécnica de Valencia, España.
9. Romero Villafranca, R. y Zúnica, Ramajo L.R. Romero Zúnica, Rafael (2007). DS-Optimal experimental plans for robust parameter design. Journal of Statistical planning and inference. 137 pág.1485-1495.
10. Romero Villafranca, R. y Zúnica, Ramajo L.R. (2008) Métodos Estadísticos en Ingeniería, Ed. SPUPV Valencia, España.