

DISEÑO ROBUSTO DE PARAMETROS. PROPUESTAS ALTERNATIVAS A LA METODOLOGÍA DE TAGUCHI

Pagura, José⁽¹⁾; Puigsubirá, Cristina⁽¹⁾; Casali, Ana⁽²⁾; Borra, Virginia⁽¹⁾

(1) Instituto de Investigaciones Teóricas y Aplicadas de la Escuela de Estadística. Facultad de Ciencias Económicas y Estadística. Universidad Nacional de Rosario.

(2) Departamento de Ciencias de la Computación de la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Universidad Nacional de Rosario.

Mejora Continua e Innovación en Procesos Industriales, comerciales, administrativos, y de servicio

INTRODUCCION

Internet y la Web han abierto un mundo de muchísimas posibilidades en cuanto a información disponible y al uso de la misma. Pero este vasto mundo también plantea el problema de como encontrar aquello que se busca. 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 Graduada, en el Departamento mencionado se ha desarrollado un sistema recomendador aplicado al turismo argentino 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. 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 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 descrita, es la aplicación de la metodología de Taguchi. 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.

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 (Nair,1992) por la pérdida de información en la que se incurre por analizar los datos de acuerdo a esta metodología.

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 pero analizando los resultados de una manera diferente. 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 (Pozueta,2001, Prat Bartés, 1999).

En el presente trabajo, se presenta un diseño experimental cuyos resultados pueden analizarse empleando los tres métodos que se exponen, permitiendo la comparación entre ellos. Por último, se realizan comentarios acerca de propuestas más recientes basadas en la teoría de diseños óptimos.

METODOLOGIA

En esta sección, se presenta en primer lugar, una breve descripción de la metodología conocida como Diseños Robustos de Taguchi, para luego exponer algunas de las alternativas encontradas en la bibliografía, y que se proponen a partir de las diferentes críticas de los procedimientos de Taguchi.

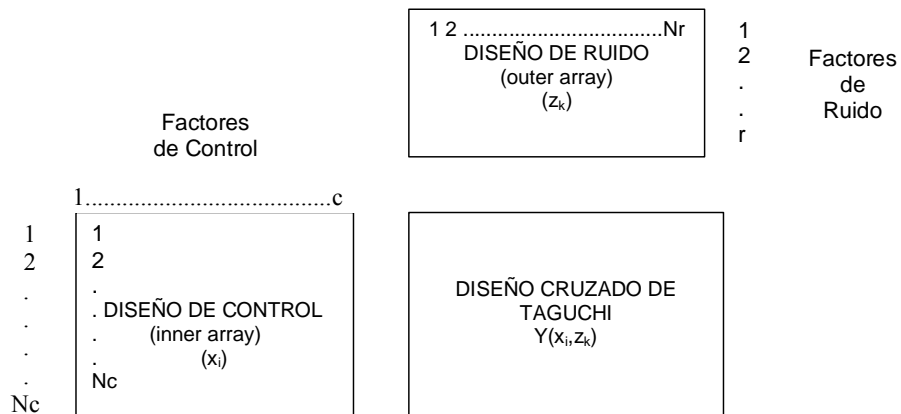
Posteriormente se realiza una presentación suscita de T-Agent y de la forma de operación, se expone el diseño experimental realizado y la manera en la que se llevó a cabo la recolección de los datos.

Se agrega también que, para el tratamiento informático se ha utilizado el software Minitab.

Método de Taguchi

La metodología de Taguchi (Myers y otros, 2002, Box, 1988) presenta como particularidad la distinción de los factores cuya influencia se estudia, en factores de control y de ruido. Los de control son aquellos parámetros 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 al momento de 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”, los 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 (OA) 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; el cálculo de SNR será diferente si se desea minimizar el valor medio de la respuesta, si se desea maximizar o se desea alcanzar un determinado valor (Prat y otros, 1999, Romero, 2002). 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 que factores que afectan a la SNR y escoger los niveles que la maximizan.
- 2) Seleccionar algún factor que, teniendo influencia sobre el valor medio de la respuesta tenga un efecto pequeño sobre la SNR. Este factor 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 de 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 los efectos de las interacciones resultan de gran importancia.

Una crítica a esta metodología es precisamente que, si el diseño de control es un OA, será imposible probar la significación estadística de las interacciones, ya que los mismos son fracciones factoriales saturadas. 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. Diversos autores han sugerido como un camino de lograr una mejor comprensión del comportamiento del mismo, el uso de modelos separados para la media y la variancia.

Modelado de la media y de la variabilidad

Una propuesta alternativa (Nair, 1992, Pozueta, 2001), se basa en el análisis directo de la matriz producto de Taguchi, ya definida en el apartado anterior y representada en la Figura 1. Utilizando dicha estrategia experimental, se propone el estudio, para cada condición definida por los factores de control, del comportamiento del valor medio de la respuesta y de la variabilidad observada a través de los diferentes tratamientos definidos por los factores de ruido, en lugar de emplear las SNR. 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, empleando en este último el logaritmo de la desviación estándar calculado con las observaciones correspondientes a cada tratamiento del diseño de control.

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

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

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 variancia. Luego de la verificación de los supuestos 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 en los factores de control y de ruido. Resulta útil entonces plantear un modelo que tenga en cuenta dichas interacciones y construir un plan experimental que permita la estimación del mismo. El método de la matriz ampliada (Pozueta, 2001, Prat Bartés, 1999) plantea la construcción de un diseño que combina los factores de control y de ruido en una 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 que 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.

La 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, llamado 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, el programa 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 está 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 L9¹, adaptándolo a la situación del estudio (10). De esta forma se define la realización de 36 pruebas.

El relevamiento de la información²

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

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En esta sección se presenta los análisis de los resultados obtenidos al aplicar los 36 tratamientos definidos, de acuerdo a las diferentes propuestas. Se destaca que, en este caso, puede aplicarse el el análisis según el método de la matriz ampliada ya que las pruebas realizadas son independientes.

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 1. SNRs para cada tratamiento del inner array

Modelo de agente	Versión	SNR
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 de dicho efecto.

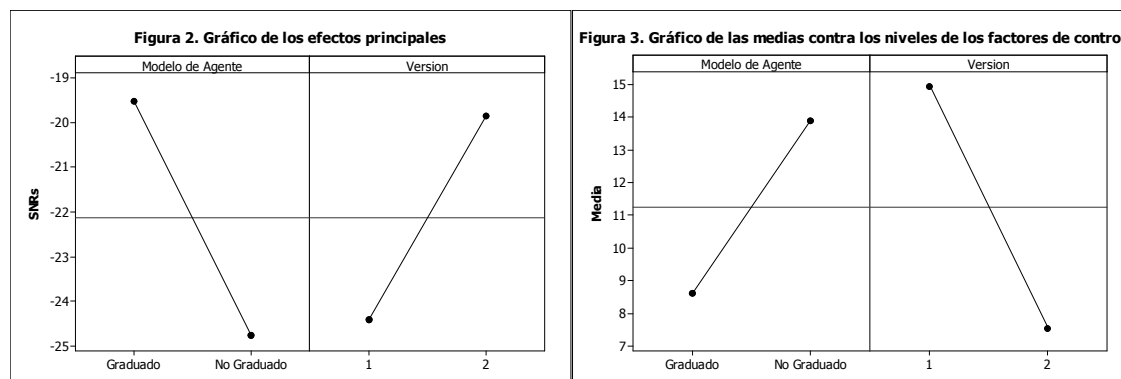
TABLA 2. Análisis de la variancia del ratio señal-ruido

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

¹ L9 hace referencia a un diseño conocido como Orthogonal Array propuesto por Genichi Taguchi para estudiar efectos de hasta 4 factores con tres niveles

² Agradecemos la colaboración en esta etapa del experimento a las alumnas Lucía Hernandez 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 los 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



Análisis de los resultados utilizando la Matriz producto

Para cada condición experimental de los factores de control se halla la media y una medida de la variabilidad, $\log(\text{desvío estándar})$; a través de las condiciones de ruido. (Tabla 2).

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

Modelo de Agente	Versión	Media	Log(s)
Graduado	1	11.22	0.68753
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 2^2 . Se presentan los resultados solo para la variabilidad, dado que cuando se modela la media no se obtienen efectos significativos.

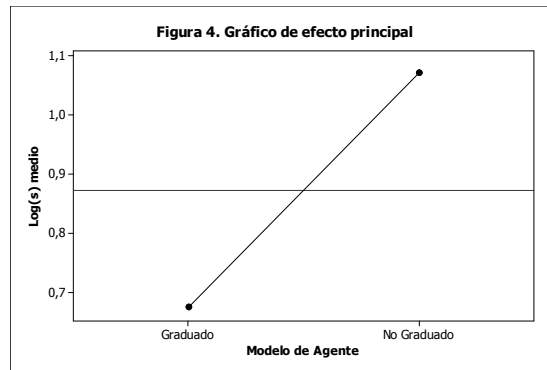
Tabla 4. Efectos, Coeficientes, Desviaciones estimados para el modelo, y p-values

Término	Efecto	Coeficiente	Desviación estándar Del coeficiente	p-value
Constante	0,87267	0,03021	28,89	0,022
Modelo de Agente	0,39694	0,19847	0,03	0,096
Versión	-0,08708	-0,04354	0,03	0,386

Tabla 5. Análisis de la variancia para Log(S)

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			

El modelo estimado resulta entonces: $\text{Log}(S) = 0,87267 + 0,19847 \text{ Modelo de Agente}$



Teniendo en cuenta que el objetivo es obtener un sistema recomendador de turismo robusto ante la influencia de los factores de ruido considerados, es decir que la variabilidad de la distancia sea mínima, a partir de la información que da la Figura 4 puede decirse que el Modelo de Agente Graduado el que satisface dicho requisito.

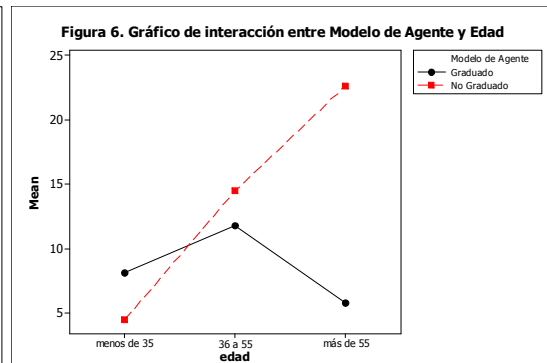
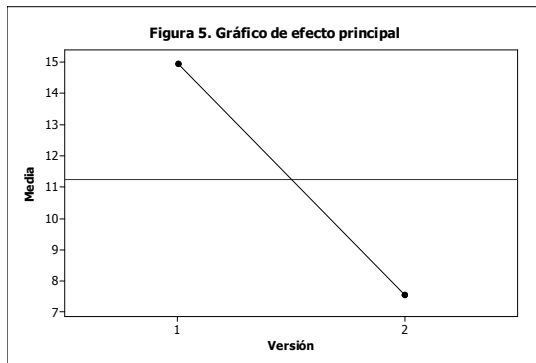
Análisis de los resultados utilizando la Matriz Ampliada

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 analizadas, se ordenan las condiciones experimentales de la matriz producto en una matriz única de un diseño factorial $2^2 \times L9$ 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 6. Análisis de la variancia de la matriz ampliada

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
Modelo de Agente*Versión	1	42,25	42,25	0,55	0,468
Modelo de Agente*sexo	1	2,35	2,35	0,03	0,863
Modelo de Agente*edad	2	661,06	330,53	4,31	0,031*
Modelo de 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			



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, no así la interacción entre ellos.

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.

Del ANOVA y de las figuras 5 y 6 puede decirse 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 en términos de la respuesta media y un comportamiento homogéneo para los distintos grupos etarios considerados, evidenciando robustez.

COMENTARIOS FINALES

Los tres métodos de análisis que se emplearon condujeron a la elección de Modelo de Agente Graduado, y Versión 2. Sin embargo, se pueden realizar las siguientes observaciones en cuanto a la información proporcionada por cada uno de ellos:

- El método de Taguchi permitió decidir cual es el producto con mejor desempeño. El mismo es simple en su aplicación.
- 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 solo 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, 2001, Romero y otros, 2007, enuncian propuestas basadas en la teoría de Diseño Optimo, 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.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 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.
- 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.
- Box, G.E.P. (1988), "Signal-to-noise ratios, performance criteria and transformations", *Technometrics*, 30, pp. 1-40
- Nair, V. N. (1992), "Taguchi's Parameter Design: A Panel Discussion", *Technometrics*, 34, pp.127-161
- Pozueta, L. (2001), “Errores en la Búsqueda de Condiciones Robustas, Metodología para Evitarlos”, Tesis doctoral Universidad Politécnica de Cataluña, España.
- 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.
- Romero Zúnica, Rafael (2002), Planes Experimentales Ds-Óptimos en Diseño Robusto de Parámetros, Tesis doctoral Universidad Politécnica de Valencia, España.
- 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.
- Romero Villafranca, R. y Zúnica, Ramajo L.R. (2008) Métodos Estadísticos en Ingeniería, Ed. SPUPV Valencia, España.

CURRICULUM DE LOS AUTORES

José Alberto Pagura

Licenciado en Estadística por la UNR y Doctor por la Universidad Politécnica de Valencia, España en el programa: Métodos Estadísticos Avanzados para la Mejora de la Calidad y de la Productividad.

Desde 1977 es docente en la Facultad de Ciencias Económicas y Estadística de la UNR siendo actualmente Profesor Titular, Dedicación Exclusiva. Es director del Instituto de Investigaciones Teóricas y Aplicadas de la Escuela de Estadística y tiene a su cargo el dictado de asignaturas

algunas de las cuales son Muestreo en Poblaciones Finitas y Diseño de Experimentos. Es además Profesor en la Maestría en Estadística Aplicada de la UNR.

Dirige proyectos de investigación en temas vinculados a la mejora de la calidad y de la productividad y es autor de diversos trabajos presentados en congresos y de publicaciones en revistas especializadas.

Ha dirigido de numerosas tesinas y de tesis de Maestría en los temas de su especialidad.

Ha dictado cursos sobre Métodos Estadísticos para la estrategia seis sigma utilizando Minitab, Diseño de Experimentos, Estudio Estadístico de Sistemas de Medida, Análisis de Regresión y temas afines.

Es miembro del IASI (Inter American Statistical Institute) y de la Sociedad Argentina de Estadística (SAE) de la que fue miembro de la Comisión Directiva entre los años 2004 y 2008.

Cristina Raquel Puigsubirá

Licenciada en Estadística por la Universidad Nacional de Rosario y se encuentra finalizando la tesis: "Diseño Robusto de Parámetros. Alternativas Basadas en Diseño Óptimo", para la obtención del título de Magíster en Estadística Aplicada otorgado por la UNR.

Desde 1985 se desempeña como Investigadora del Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Rosario, estando actualmente en la categoría "C" (Investigador Independiente).

Desde 1986 se desempeña como docente en la Facultad de Ciencias Económicas y Estadística de la UNR, siendo actualmente Profesora Adjunta. Participa en el dictado de las asignaturas: Métodos Estadísticos II y Diseño de Experimentos y en el Taller de Métodos Cuantitativos en la Especialización en Comercialización de la UNR.

Integra proyectos de investigación en temas vinculados a la mejora de la calidad y de la productividad.

Es autor de diversos trabajos presentados en congresos y de publicaciones en revistas especializadas, en los que se refleja su actividad en investigación.

Es Directora de tesinas de la Licenciatura en Estadística y miembro de la Sociedad Argentina de estadística.

Ana Casali

Es Licenciada en Matemática FCEIA-UNR y Doctora en Tecnologías de la Información por la Universidad de Girona, España.

Es Directora del Departamento de Ciencias de la Computación de la FCEIA-UNR y Profesora Adjunta del Departamento de Sistemas e Informática. Ha realizado tareas docentes en la FCEIA-UNR desde 1981. Actualmente es responsable de las materias "Lógica y Algoritmos" e "Introducción a la Inteligencia Artificial" correspondientes a la Licenciatura en Cs. de la Computación e "Ingeniería del Conocimiento". Ha dirigido Tesinas sobre temas vinculados a su trabajo de investigación y actualmente integra la Comisión Asesora del Doctorado en Informática (UNR).

Trabaja en grupos de investigación en Inteligencia Artificial desde el año 1983. Sus principales temas de interés son los distintos modelos lógicos para la representación del conocimiento y las arquitecturas de agentes. Ha integrado más de 15 Proyectos Nacionales y de Cooperación Internacional vinculados a la aplicación de la Inteligencia Artificial. Fue miembro del Comité Académico y Evaluador de diferentes eventos científicos y revisora de publicaciones internacionales. Es autora de más de treinta publicaciones referidas a su trabajo de investigación.

Virginia Laura Borra

Es Licenciada en Estadística por la UNR y actualmente es alumna regular de la Maestría en Estadística Aplicada de la UNR.

Desde 2006 se desempeña como docente en la Facultad de Ciencias Económicas y Estadística de la UNR siendo actualmente Jefe de Trabajos Prácticos de las asignaturas Métodos Estadísticos, Muestreo en Poblaciones Finitas y Análisis de datos categóricos. Es Directora de tesinas de grado en los temas de su especialidad. Integra proyectos de investigación y es autora de diversos trabajos presentados en congresos y de publicaciones en revistas especializadas.

Es miembro de la Sociedad Argentina de Estadística.