

## Capítulo 9

### *L*, *S* y *w* variables

*Llegamos a este capítulo habiendo explorado cómo la calidad del diseño secuencial depende de las variables L y S, para un nivel constante de la tercera variable, w. En éste, agregaremos 5 niveles a esta última y volveremos a evaluar la calidad del diseño. Esto nos proporcionará un nuevo punto de vista más amplio de estudio, ya que la variable w, es la que determina el primer centro de experimentación del encadenamiento secuencial. La evaluación de cada uno de los criterios que miden la calidad del diseño —sus promedios— nos dará una idea más sólida acerca del comportamiento de algunos escenarios en los que se podría encontrar el Ingeniero de Procesos —u otro profesional idóneo— al estudiar la conveniencia de aplicar una metodología de superficie de respuesta en procesos que contengan datos binarios. Las valoraciones que pueda realizar sobre los estadísticos de calidad de ajuste, como así también otras fuentes de información provenientes de otros ámbitos de estudio, seguramente podrán facilitarle la tarea de decidir qué variables y qué niveles de las mismas le ayuden a conocer mejor su proceso y a alcanzar mejores condiciones operativas, con menor esfuerzo técnico y económico, que es nuestra intención final con este trabajo.*

#### 9.1. Introducción

Habiendo partido de un nivel inicial del 5 % para *w*, nos parece prudente considerar los 4 múltiplos siguientes de este valor para finalizar nuestra evaluación<sup>1</sup>. Es así como hemos elegido los niveles de *w*:

$$\text{Niveles de } w = \frac{1}{100}(5; 10; 15; 20; 25)' \quad (9.1)$$

Recapitulamos el contexto en el cual nos encontramos de acuerdo con el objetivo que venimos persiguiendo: maximizar los criterios de evaluación de diseños:

---

<sup>1</sup>De todos modos, al considerar estos niveles “relativamente tan bajos” de *w*, no abandonamos el punto de partida de la *MSR* clásica: comenzar el estudio situándonos “relativamente lejos” del máximo.

1. Partimos de 25 casos de estudio, cada uno con  $w$  fijo y con una matriz  $\mathbf{LS}$  asociada,  $\dim(\mathbf{LS}) = 25 \times 2$ .
2. Para cada uno de los 25 casos, consideramos 5 niveles para  $w$  y construimos sus respectivas 5 matrices  $\mathbf{LS}$ , llegando a un total de 125 casos de estudio posibles.
3. En este capítulo, buscaremos los niveles de las 3 variables de estudio — $w$ ,  $L$  y  $S$ — que maximicen los dos criterios de evaluación de calidad de ajustes que hemos propuesto, los cuales nos indicarán las mejores condiciones de operación del proceso con las que esperamos llegar a los mejores resultados del proceso real. En la figura 8.2 de la página siguiente, ilustramos de modo esquemático esta situación:

## 9.2. Evaluaciones para $w$ variable

### 9.2.1. Esquema de estudio

Siguiendo con el mismo esquema de estudio del capítulo anterior, haremos en este una evaluación de los dos criterios propuestos (I y II) para los distintos niveles de  $w$  que presentamos en la expresión (9.1). Hemos detectado que los resultados que pudimos observar en el **Capítulo 8** evaluando los dos criterios desde algunos estadísticos (logaritmos de determinantes y transformaciones de las probabilidades, básicamente), seguían un patrón similar de comportamiento. Al mismo lo podríamos expresar indicando que para cualquiera de los estadísticos evaluados, parece haber una tendencia a que los valores observados en los niveles más altos de las variables  $L$  y  $S$  son mayores que para los niveles más bajos. Este hecho lo podemos evidenciar en la figura 8.11 del capítulo anterior, en la que hemos resumido toda la información resultante de evaluar los estadísticos promedio de cada una de las 25 filas de la matriz  $\mathbf{LS}$  para el caso de  $w = 5\%$ .

Con este gráfico-resumen en mente, exploraremos aquí de la misma manera los distintos niveles de la variable factor de centro,  $w$ , para lo cual representaremos los gráficos de rejilla correspondientes a cada nivel considerado y resumiremos luego, convenientemente, los resultados obtenidos. Con estas herramientas programadas en **R** para que se realicen de forma automática, intentaremos establecer una base objetiva para evaluar qué niveles de las 3 variables de estudio permiten maximizar los dos criterios propuestos.

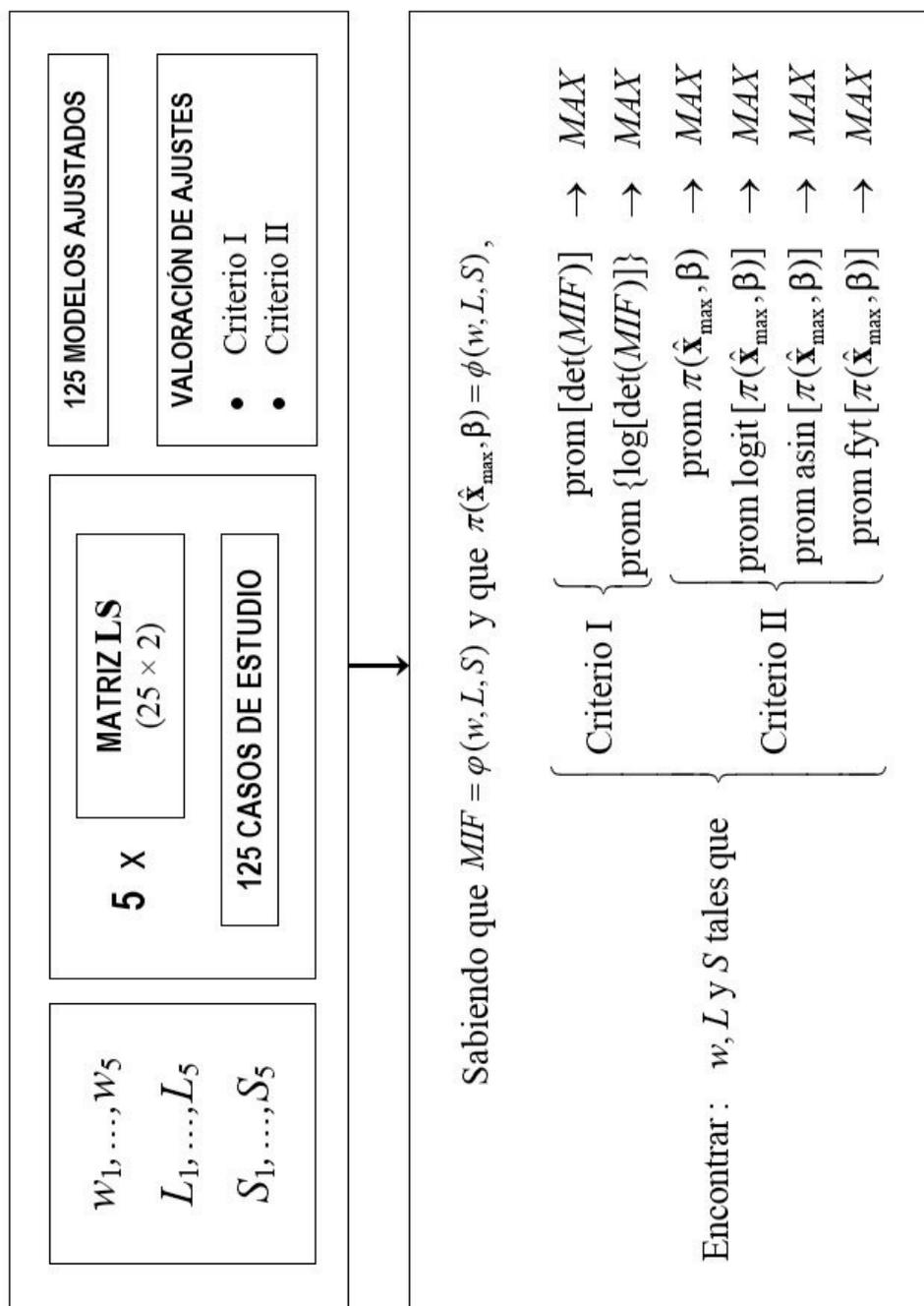


Figura 9.1: Organización esquemática de la información que se ha definido para encontrar los niveles de las tres variables de estudio — $w$ ,  $L$  y  $S$ — que maximicen los dos criterios propuestos para medir la calidad del ajuste.

### 9.2.2. Representaciones gráficas de las evaluaciones

Para evaluar los niveles restantes de  $w$ , y debido a la relativa consistencia en las evaluaciones realizadas desde los distintos estadísticos ya vistos, evaluaremos los dos criterios propuestos de manera simplificada, utilizando un estadístico de evaluación para cada criterio:

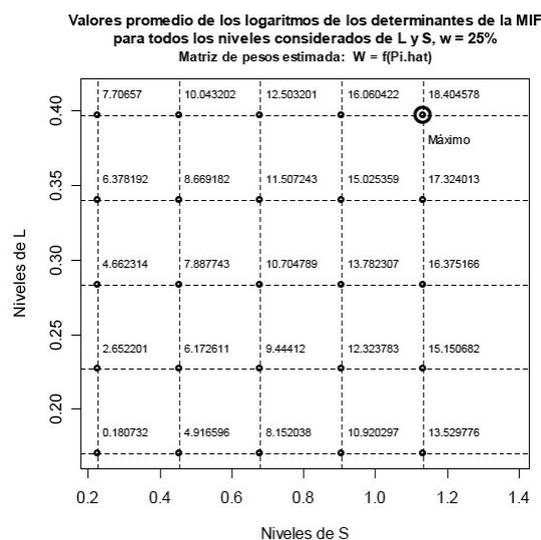
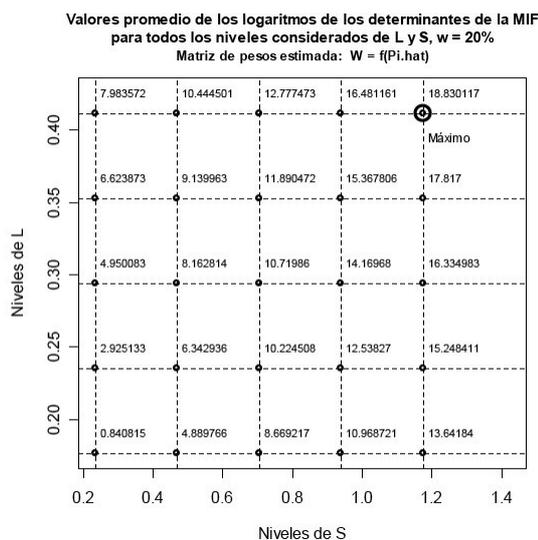
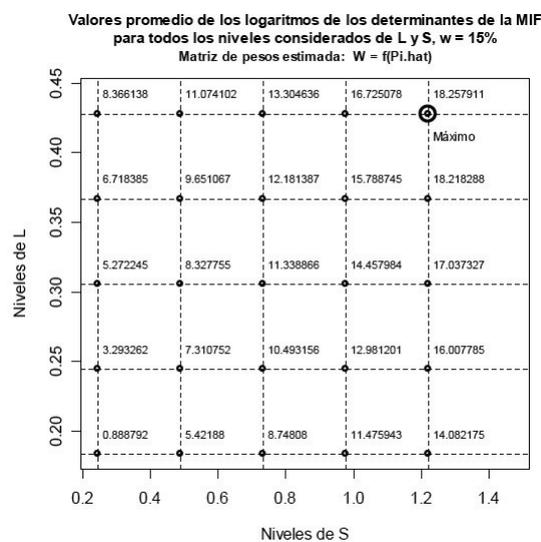
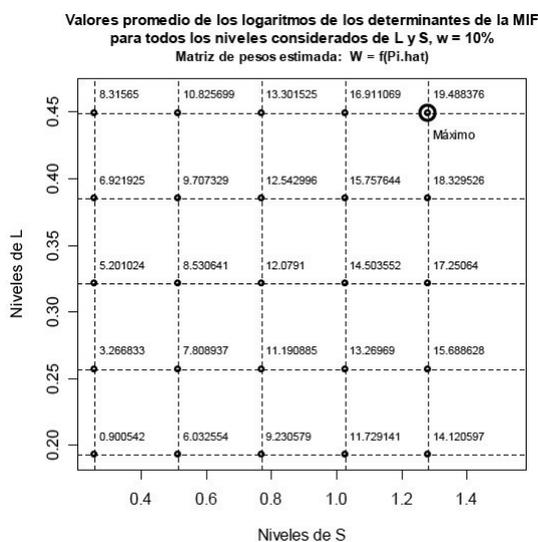
- a. Para el criterio I de “cantidad de información”, tomaremos el **logaritmo del determinante de la MIF**, es decir,  $\log \det(MIF)$ . La probabilidad de la que depende la matriz de “pesos”  $\mathbf{W}$  la hemos calculado en función de la probabilidad ajustada, `pi.hat`.
- b. Para el criterio II de “proximidad al máximo”, tomaremos directamente la **probabilidad en escala original**, es decir,  $\pi(\hat{\mathbf{x}}_{\text{máx}}, \beta)$ .

El esquema de definir una matriz  $\mathbf{LS}$  para cada nivel de  $w$  también lo repetiremos en esta sección, aunque lo realizaremos sólo para los dos estadísticos antedichos. Mediante los programas de la serie GRAPH-UNI que hemos escrito en  $\mathbf{R}$ , hemos desarrollado todos los cálculos de este último capítulo, cuyos detalles y líneas de comando podrán verse en el **Apéndice C**.

Del mismo modo que presentamos los gráficos de rejilla en el capítulo anterior, con  $w$  fijo en un 5%, aquí evaluaremos los dos estadísticos que comentamos en el párrafo anterior para el resto de niveles que hemos considerado para  $w$ , luego de lo cual, ensayaremos algunas observaciones que nos conduzcan en el capítulo siguiente a elaborar algunas conclusiones de nuestro estudio.

#### **Criterio I: logaritmo de $\det(MIF)$ , con $\hat{\pi} = \text{pi.hat}$**

Del mismo modo que hicimos en el capítulo anterior, resumiremos a través de los gráficos de rejilla los valores que van tomando los dos estadísticos que evaluaremos frente a cada nivel de  $w$ . Cabe recordar que cada nodo mostrado representa el valor del estadístico correspondiente para cada uno de las filas de la matriz  $\mathbf{LS}$  que corresponde a cada nivel de  $w$ . A continuación, mostramos las 4 figuras que corresponden a los niveles 10%, 15%, 20% y 25% de esta última variable, los cuales se pueden comparar con el correspondiente al del 5%, que fue representado en la figura 8.6 del capítulo anterior:



En la tabla que mostramos a continuación, podremos ver los valores máximos que toma este estadístico frente a cada uno de los gráficos de rejilla precedentes:

```
> mat.04
      w% ln[det(Pi.hat)]
[1,] 0.05      16.90321
[2,] 0.10      19.48838
[3,] 0.15      18.25791
[4,] 0.20      18.83012
[5,] 0.25      18.40458
```

En la fig. 9.2, resumimos los valores máximos de la última tabla para cada uno de los gráficos-rejilla que consideramos:

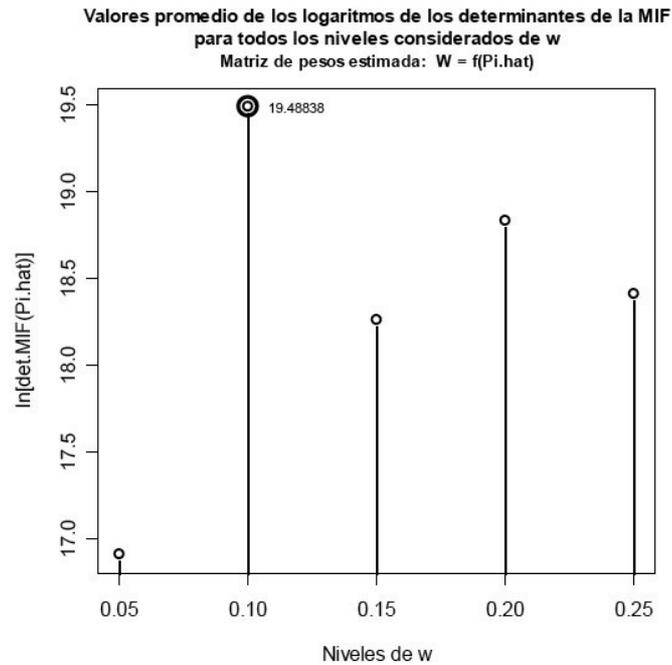
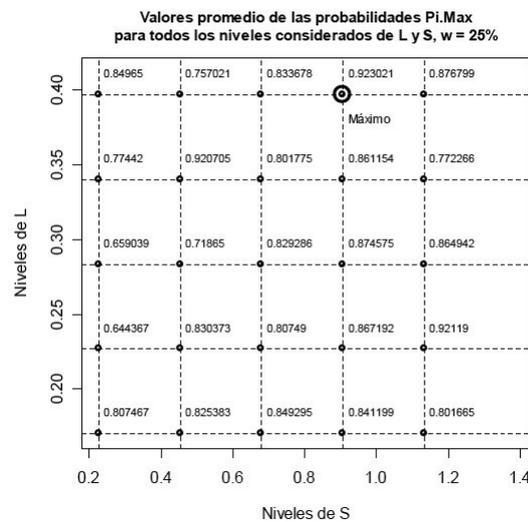
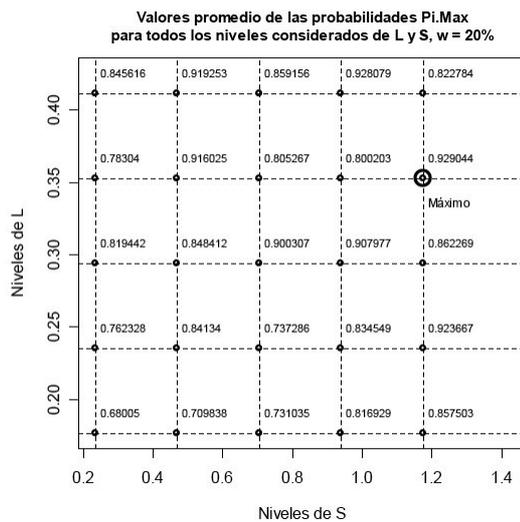
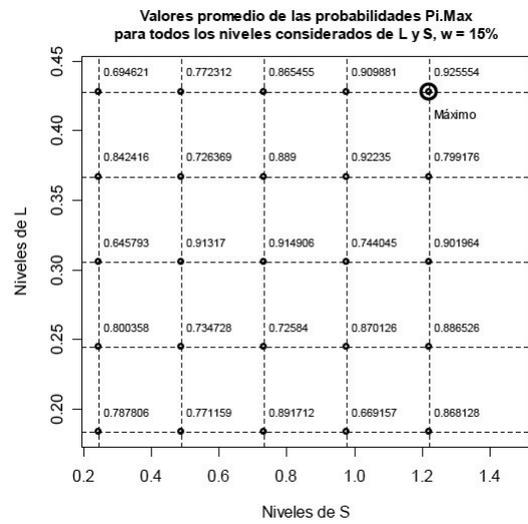
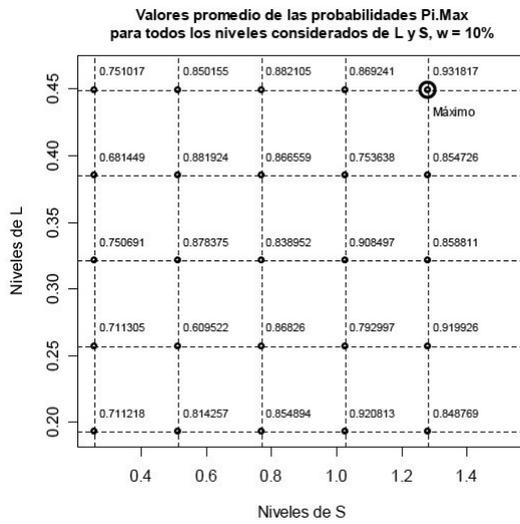


Figura 9.2: Variación de los logaritmos de los determinantes máximos con los niveles 5 %, 10 %, 15 %, 20 % y 25 % de la variable  $w$ .

Podemos observar en esta figura que el valor máximo del logaritmo de  $\det(MIF)$  corresponde a cada nivel de la variable  $w$ , tiene su máximo para el nivel del 10 % de esta variable, aunque la diferencia con los valores inferiores inmediatos (20 %, 25 % y 15 %) no parece evidenciar una diferencia que resulte muy significativa.

### **Criterio II: $\pi(\hat{\mathbf{x}}_{\text{máx}}, \boldsymbol{\beta})$ , en escala original**

Del mismo modo que presentamos los gráficos-rejilla para el criterio I, aquí haremos lo propio para el criterio II. Como comentamos anteriormente, expresaremos el estadístico  $\pi(\hat{\mathbf{x}}_{\text{máx}}, \boldsymbol{\beta})$  en su escala original. En las figuras siguientes, observaremos el comportamiento de la variable de estudio  $w$  frente a los niveles del 10 %, 15 %, 20 % y 25 %, que pueden compararse con el del 5 % del capítulo anterior, figura 8.7.



En la tabla que mostramos a continuación, podremos ver los valores máximos que toma este estadístico frente a cada uno de los gráficos de rejilla precedentes:

```
> mat.05
      w%   Pi.Max
[1,] 0.05 0.931704
[2,] 0.10 0.931817
[3,] 0.15 0.925554
[4,] 0.20 0.929044
[5,] 0.25 0.923021
```

Finalmente, la fig. 9.3 resumimos los valores máximos de la última tabla:

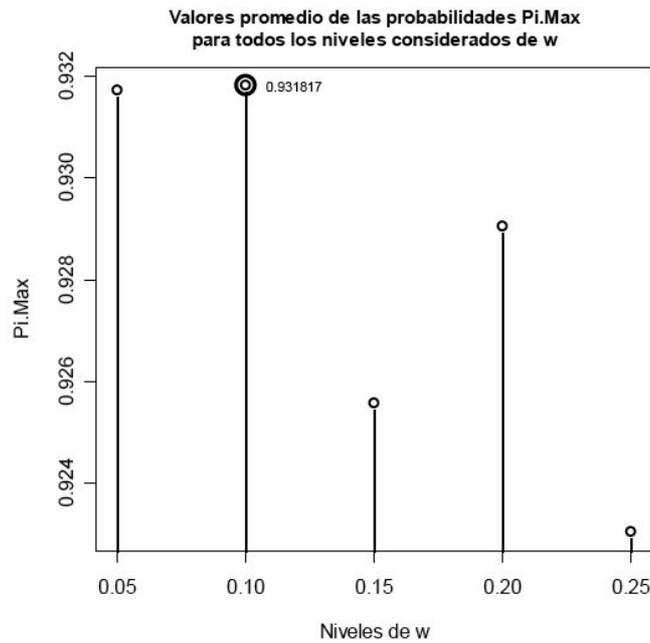


Figura 9.3: Variación de las probabilidades calculadas en el máximo ajustado del modelo teórico con los niveles 5 %, 10 %, 15 %, 20 % y 25 % de la variable  $w$ .

Resulta de particular interés la comparación de la fig. 9.3 con la 9.2. Vemos que el mayor valor tanto para uno como para otro estadístico se observa para el nivel  $w = 10\%$ . Este hecho queda algo más evidente en el caso del criterio I que en el II, ya que en este último el valor observado para el nivel  $w = 5\%$  prácticamente no tiene diferencia con el del nivel  $w = 10\%$ . Por otro lado, y en menor importancia que en los dos primeros niveles, podemos ver que para el nivel  $w = 20\%$  ambos estadísticos tienen también un valor que no difiere mucho de aquel que tiene el nivel  $w = 10\%$ , que es el que corresponde al máximo.

### 9.2.3. Algunas observaciones

En los 2 gráficos de bastones correspondientes a ambos criterios de medida de las estrategias de diseño, figs. 9.2 y 9.3, parece bastante claro que los máximos valores del mismo se alcanzan para el nivel  $w = 10\%$ , cuyos valores se distinguen del resto de los niveles de  $w$  considerados.

Para el caso de los gráficos correspondientes al criterio II (figura 9.3), si bien se observa que todos los máximos valores de los estadísticos se alcanzan cuando  $w$  se hace igual al 10%, parece muy claro también indicar que no se ven diferencias apreciables con respecto a los valores de los estadísticos cuando la variable  $w$  alcanza su nivel más bajo, como así tampoco cuando alcanza el nivel del 20%. Si se compara esta situación con los gráficos correspondientes al criterio I, esta situación es coincidente, aunque las diferencias observadas entre el valor máximo del logaritmo del  $\det(MIF)$  parecen ser algo mayores que las correspondientes al criterio II.

Sintetizando estas observaciones, hemos visto en los gráficos de resumen de los distintos estadísticos de medida de calidad de diseño, que sus valores máximos se alcanzan para el nivel  $w = 10\%$ , si bien no tenemos evidencia suficiente como para descartar radicalmente el nivel más bajo,  $w = 5\%$ , sobre todo cuando observamos los estadísticos correspondientes al criterio II. Así, las simulaciones de puntos y los ajustes realizados parecen dirigir nuestra atención hacia el nivel del 10% de la variable  $w$ , que ha sido el nivel con el que hemos conseguido los “mejores” valores de los estadísticos considerados.

Frente a estas observaciones, haremos en la sección siguiente una descripción más minuciosa de todos los detalles correspondientes a la exploración secuencial de la superficie teórica cuando  $w$  toma su nivel del 10%.

### 9.3. Descripción del mejor caso observado

Tomando como base los resultados que obtuvimos, describiremos a continuación la “mejor” secuencia de experimentación de todas las que hemos evaluado, aportando algunos datos complementarios que podrán resultar útiles. Todos los casos, aunque resulte redundante decirlo, se evaluarán con detalle para el nivel del 10% de la variable  $w$ .

En los capítulos anteriores, veníamos definiendo la matriz  $\mathbf{LS}$  a partir del nivel  $w = 5\%$ , a partir de lo cual construimos toda la estrategia de exploración de diseños para sus 25 filas en total. Habiendo adoptado como “mejor” el nivel  $w = 10\%$ , mostramos aquí la situación del primer centro de experimentación (fig. 9.4), la definición de su matriz  $\mathbf{LS}$  correspondiente y la estrategia de exploración para cada uno de los 15 cuadros de puntos. Con ello, tendremos una visualización que resultará útil y que nos mostrará de qué manera los diseños sucesivos van acercándose o alejándose del máximo teórico, que también nos permitirá comenzar a configurar bosquejos y síntesis de nuestro trabajo.

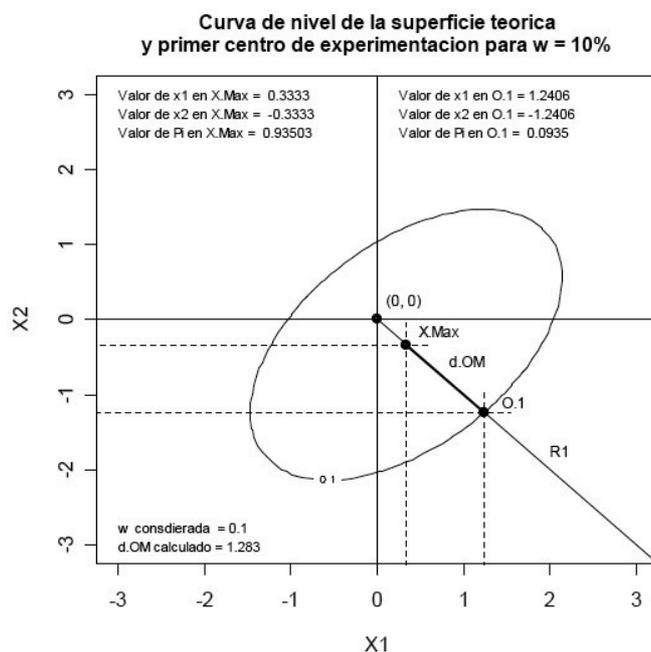


Figura 9.4: Situación general del primer centro de experimentación para el nivel  $\pi_{10\% \text{ máx}}$  de la superficie teórica.

A continuación presentamos unas salidas del programa de la serie MEDCA (ver **Apéndice C**) nos permiten caracterizar la estrategia correspondiente al nivel  $w = 10\%$  para los niveles más altos de la matriz **LS**, que corresponderá a la fila número 25 de la misma:

```
> list.W010.F25[1:9]
$"Valor de w% elegido"
[1] 0.1

$"Niveles de L:"
[1] 0.1924570 0.2566093 0.3207616 0.3849139 0.4490662

$"Niveles de S:"
[1] 0.2566093 0.5132185 0.7698278 1.0264371 1.2830463
```

```
 $"Matriz LS para el w elegido:"
```

```
   Valores de L  Valores de S
1      0.1924570   0.2566093
2      0.2566093   0.2566093
3      0.3207616   0.2566093
4      0.3849139   0.2566093
5      0.4490662   0.2566093
6      0.1924570   0.5132185
7      0.2566093   0.5132185
8      0.3207616   0.5132185
9      0.3849139   0.5132185
10     0.4490662   0.5132185
11     0.1924570   0.7698278
12     0.2566093   0.7698278
13     0.3207616   0.7698278
14     0.3849139   0.7698278
15     0.4490662   0.7698278
16     0.1924570   1.0264371
17     0.2566093   1.0264371
18     0.3207616   1.0264371
19     0.3849139   1.0264371
20     0.4490662   1.0264371
21     0.1924570   1.2830463
22     0.2566093   1.2830463
23     0.3207616   1.2830463
24     0.3849139   1.2830463
25     0.4490662   1.2830463
```

```
 $"Fila estudiada de la matriz LS:"
```

```
[1] 25
```

```
 $"Distancia entre el maximo y el primer centro (d.OM):"
```

```
[1] 1.283046
```

```
 $"No. de observaciones por punto de disenyo (M):"
```

```
[1] 100
```

```
$"Valor de L:"
```

```
[1] 0.449066
```

```
$"Valor de S:"
```

```
[1] 1.283046
```

Podemos ver que los mejores valores de los estadísticos observados se obtienen para los máximos niveles de  $L$  y  $S$ . Presentamos seguidamente los valores de cada uno de los cuadros de puntos para cada estadístico del criterio I:

```
> list.W010.F25[10]
```

```
$"Matriz-resumen de los determinantes de las MIF"
```

	det(pr.obs)	log[det(pr.obs)]	det(pi.hat)	log[det(pi.hat)]
DF.03.01	8.565422e+07	18.265829	9.632986e+07	18.383289
DF.03.02	2.695916e+08	19.412419	3.193084e+08	19.581668
DF.03.03	1.362862e+08	18.730268	1.383435e+08	18.745250
DF.03.04	6.591699e+08	20.306492	6.023423e+08	20.216336
DF.03.05	3.193472e+08	19.581789	2.939801e+08	19.499023
DF.03.06	8.628502e+07	18.273167	1.096090e+08	18.512430
DF.03.07	4.079635e+08	19.826688	4.153352e+08	19.844596
DF.03.08	2.104757e+08	19.164881	1.627415e+08	18.907674
DF.03.09	1.572180e+08	18.873144	1.651107e+08	18.922127
DF.03.10	4.354179e+08	19.891817	4.784633e+08	19.986090
DF.03.11	2.630634e+08	19.387906	2.595964e+08	19.374639
DF.03.12	4.500846e+08	19.924946	5.242465e+08	20.077473
DF.03.13	2.035612e+08	19.131477	1.958424e+08	19.092821
DF.03.14	2.772463e+08	19.440417	2.739594e+08	19.428491
DF.03.15	8.136276e+06	15.911843	1.087471e+07	16.201950
Maximo	6.591699e+08	20.306492	6.023423e+08	20.216336
Minimo	8.136276e+06	15.911843	1.087471e+07	16.201950
Rango	6.510336e+08	4.394649	5.914676e+08	4.014386
Media	2.646334e+08	19.074872	2.697389e+08	19.118257
Stdev.	1.705554e+08	1.053818	1.713752e+08	0.984266
Coef.V.	6.444970e-01	0.055246	6.353380e-01	0.051483

En la tabla anterior, podemos ver que los resultados son homólogos de a pares: columnas 1 y 3, y columnas 2 y 4. Observando la última fila, el coeficiente de variación, vemos que las 4 medidas siguen un comportamiento similar, lo que nos permite decir que todas ellas miden relativamente bien el criterio de evaluación que hemos propuesto.

Igual que hicimos con el criterio I, calculamos a continuación la misma tabla de cuadros de puntos para los estadísticos del criterio II:

```
> list.W010.F25[11]
$"Matriz-resumen de las probabilidades maximas"
      Pi.Max Logit(Pi.Max) Arc.s(Pi.Max) Fr-Tk(Pi.Max)
DF.03.01 0.796564      1.364956      1.102867      1.099257
DF.03.02 0.934728      2.661692      1.312448      1.304025
DF.03.03 0.907813      2.287219      1.262303      1.255488
DF.03.04 0.932189      2.620811      1.307354      1.299117
DF.03.05 0.929815      2.583851      1.302671      1.294599
DF.03.06 0.934534      2.658517      1.312056      1.303647
DF.03.07 0.934739      2.661873      1.312470      1.304046
DF.03.08 0.934615      2.659842      1.312220      1.303805
DF.03.09 0.934474      2.657537      1.311934      1.303530
DF.03.10 0.931876      2.615870      1.306732      1.298517
DF.03.11 0.931439      2.609007      1.305866      1.297682
DF.03.12 0.934864      2.663924      1.312724      1.304290
DF.03.13 0.933380      2.639808      1.309732      1.301409
DF.03.14 0.873702      1.934095      1.207471      1.201996
DF.03.15 0.932561      2.626711      1.308095      1.299831

Maximo  0.934864      2.663924      1.312724      1.304290
Minimo  0.796564      1.364956      1.102867      1.099257
Rango   0.138300      1.298968      0.209856      0.205033
Media   0.918486      2.483048      1.285796      1.278083
Stdev.  0.037452      0.367111      0.057958      0.056574
Coef.V. 0.040776      0.147847      0.045076      0.044265
```

Vemos en la última fila de esta tabla que, salvo en la transformación logit, los coeficientes de variación de las columnas 1, 3 y 4 resultan prácticamente idénticos. Esto nos estaría indicando de algún modo que los estadísticos elegidos resultan adecuados para medir el criterio II.

Cuadro comparativo de los resultados obtenidos para cada estadístico utilizado,  $w = 10\%$

CONDICIONES EXPERIMENTALES		FRECUENCIAS									
PARÁMETRO	NIVELES	del MIF $W = f(\text{pr. obs})$	ln(del MIF) $W = f(\text{pr. obs})$	del MIF $W = f(\text{pr. hat})$	ln(del MIF) $W = f(\text{pr. hat})$	Pi Max	Tr. logit Pi Max	Tr. angular Pi Max	Tr. F-T Pi Max		
L (lado del factorial)	L1	0.1924570									
	L2	0.2566093									
	L3	0.3207616									
	L4	0.3849139									
	L5	0.4490662	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
S (salto entre centros)	S1	0.2566093									
	S2	0.5132185									
	S3	0.7698278									
	S4	1.0264371									
	S5	1.2830463	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
VALOR MÁXIMO		285261558	19.37509	313629191	19.48838	0.931817	2.614941	1.306615	1.298404		

Figura 9.5: Principales resultados obtenidos al calcular los estadísticos correspondientes al valor  $w = 5\%$ .

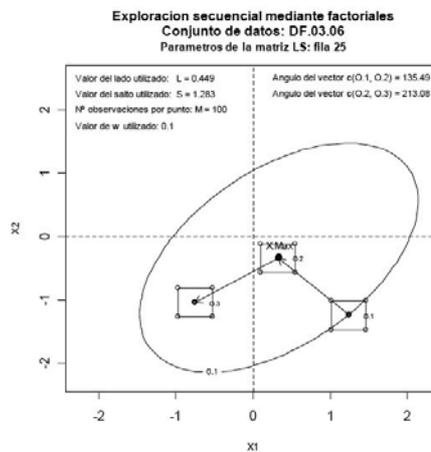
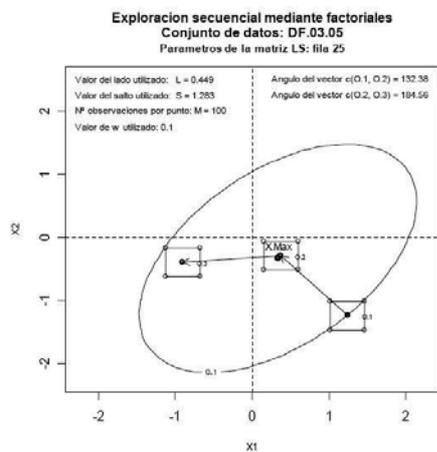
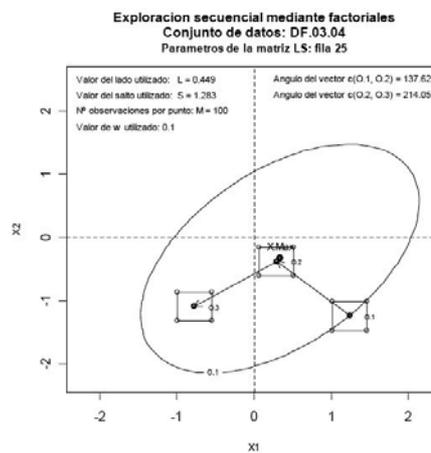
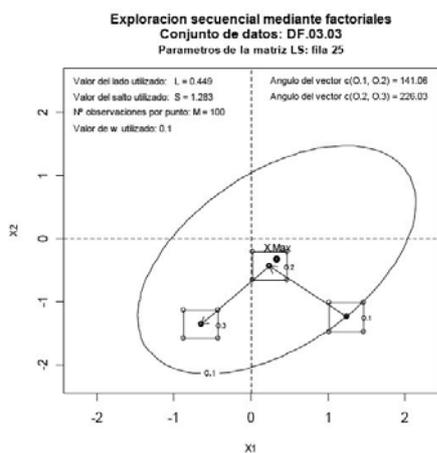
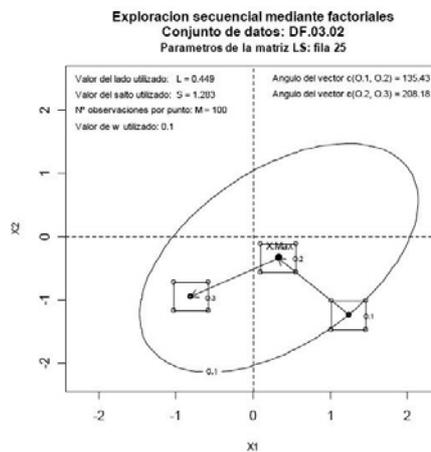
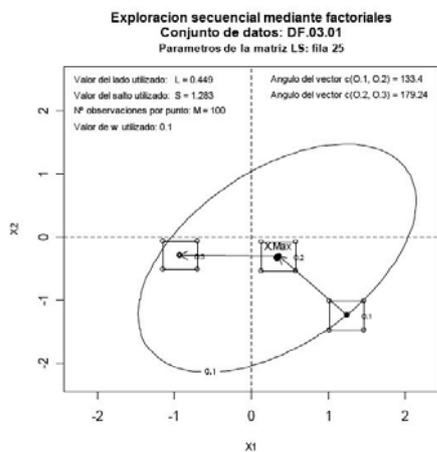
En la fig. 9.5 hemos resumido de manera conveniente estos aspectos que hemos comentado, en la que se ve que los mayores valores de ambos estadísticos —tanto en escala original como en sus correspondientes transformaciones— se observan para los niveles más altos de  $L$  y de  $S$ . En comparación con los cuadros homólogos que se obtienen para los otros niveles de  $w$ , en este se observa una mayor estabilidad de valores máximos de los estadísticos, en cuanto a que se ve que los mismos se alcanzan para los mayores valores de las dos variables de estudio representadas,  $L$  y  $S$ .

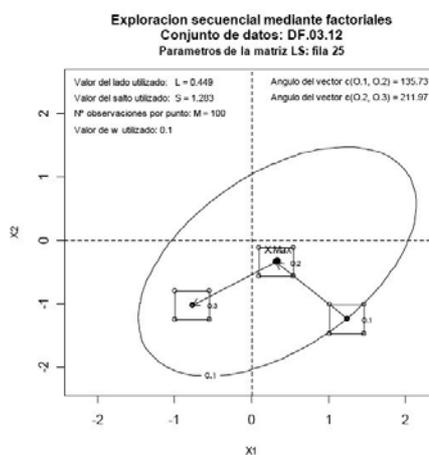
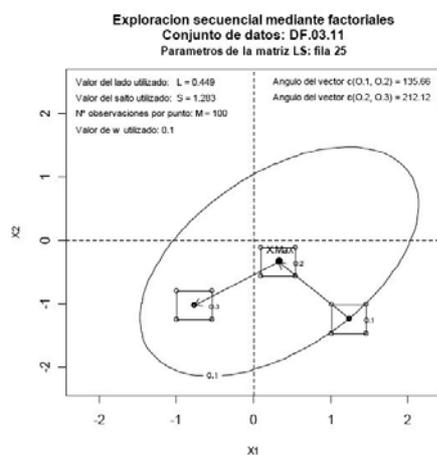
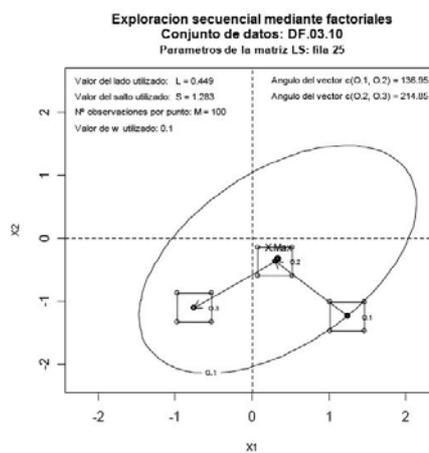
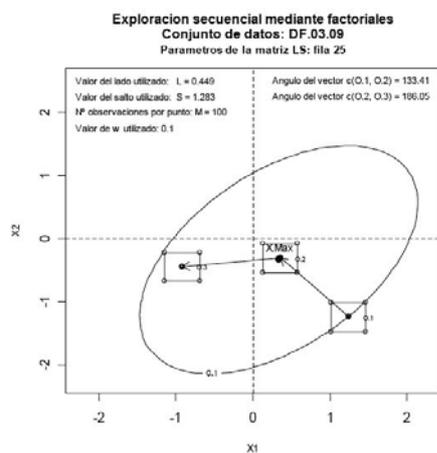
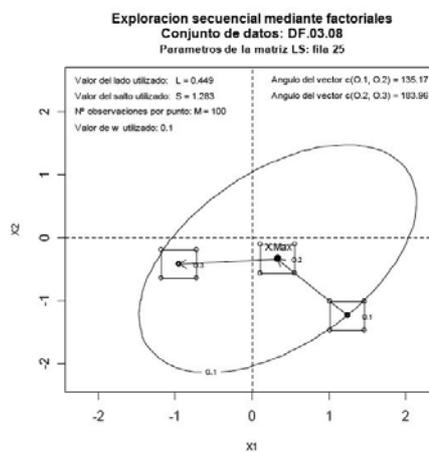
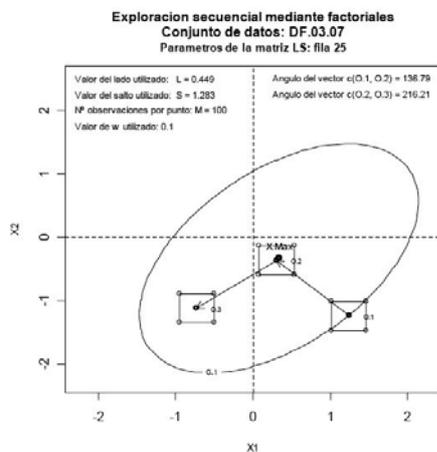
### 9.3.1. Exploración secuencial para $L = L_5$ y $S = S_5$

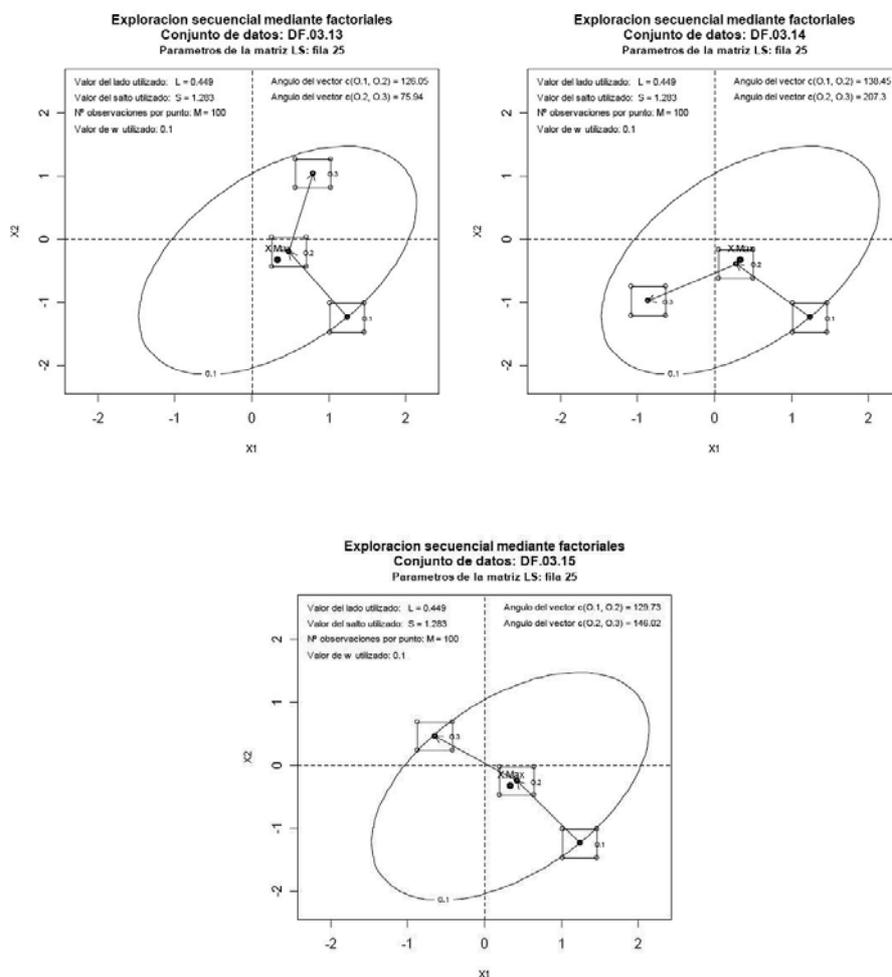
Creemos útil presentar cada uno de los gráficos de experimentación secuencial desde el primer centro para cada uno de los 15 cuadros de puntos con  $w = 10\%$ , y de esta manera poder compararlos con sus homólogos presentados en el capítulo 8 para el valor  $w = 5\%$ . En cada uno de ellos, nuestra estrategia de experimentación es la misma que venimos utilizando en capítulos anteriores, que resumimos de la siguiente manera:

1. Definir una superficie teórica que sea la que mejor refleje la situación y funcionamiento del proceso a estudiar.
2. Habiendo seleccionado cuál es el mejor nivel de  $w$  con el que ensayar observaciones, se determinan qué niveles de  $L$  y de  $S$  son los que conducen al mayor valor de los dos criterios de evaluación de diseños. En el caso que hemos estudiado, ambos criterios coinciden en  $w = 10\%$  y en los niveles más altos de las variables  $L$  y  $S$ .
3. Disponiendo de los valores  $L$ ,  $S$  y  $w$  que hacen máximos los dos criterios propuestos, evaluamos cómo se realiza efectivamente la experimentación sucesiva en camino hacia el máximo, graficando cada uno de los 15 cuadros de puntos.

Partimos entonces del valor  $w = 10\%$ , con el que definimos el primer centro de experimentación dentro de la región a estudiar, e iniciamos a partir de éste la exploración secuencial de la superficie. Tomamos los niveles de  $L$  y de  $S$  que nos llevaron a los máximos valores en ambos criterios de evaluación, es decir,  $L = 0,449066$  y  $S = 1,283046$ . Con esta configuración de niveles, iniciamos la simulación de 15 cuadros de puntos y sus correspondientes exploraciones secuenciales (ver figuras a continuación), identificados con las etiquetas DF.03.01 a DF.03.15. Los modelos correspondientes a cada diseño se van ajustando de forma automática mediante la serie de programas CRJER, cuyos detalles podemos ver en el **Apéndice C**.







### 9.3.2. Observaciones finales

Después de una exploración relativamente exhaustiva que hemos ensayado para los 15 cuadros de puntos, evaluados en las 25 filas de la matriz  $\mathbf{LS}$  correspondiente a  $w = 10\%$ , ambos criterios parecen coincidir en que sus valores máximos se consiguen para los niveles más altos de las variables  $L$  y  $S$ , los que a su vez se presentan cuando  $w$  toma el valor del  $10\%$ .

De todos los 125 casos de estudio que hemos considerado —3 variables de estudio, 5 niveles por variable— hemos encontrado que mejor configuración de los niveles de éstas son los correspondientes al siguiente vector  $(w, L, S) = (w_2, L_5, S_5)'$ , en donde los subíndices representan los niveles de cada variable considerados y ordenados de forma creciente, tal como fueron definidos anteriormente. Por “mejor configuración” debemos entender que es la que hace que los dos criterios de evaluación de estrategias alcancen

sus valores máximos, lo cual era el objetivo que nos habíamos propuesto alcanzar en la exploración.

A la vista de la última serie de gráficos, podemos notar que los 3 factoriales cubren un área mayor del plano de los factores si los comparamos con la cobertura que tenían en el caso de  $w = 5\%$ . Naturalmente, esto es debido a que tanto los lados de los factoriales como los módulos de los saltos en  $w = 10\%$  son mayores que en el caso de  $w = 5\%$ .

Otra situación que puede observarse muy claramente es que el segundo diseño suele situarse muy cerca del máximo teórico para todos los cuadros de puntos considerados. Al trasladarse del segundo al tercer centro, este último se aleja de la zona próxima al máximo. Esta situación, podría verse como poco conveniente en el sentido de sus costos asociados, ya que una vez que alcanzamos las proximidades del máximo, luego nos volvemos a alejar. Ello no obstante, pensamos que este inconveniente no es tan “grave”. Al tener la posibilidad de conseguir factoriales pasándonos más allá del máximo es relativamente beneficioso en el sentido en que también obtenemos *más información del proceso*, es decir, de otras zonas de la superficie explorada. Esta circunstancia, por sus características, nos permite ajustar mejores modelos a cada uno de los 15 cuadros de puntos, aspecto que se evidencia en los valores de los estadísticos correspondientes a los criterios I y II que hemos propuesto. De hecho, 14 de los 15 modelos ajustados para el último caso evaluado son superficies que contienen un máximo (ver descripciones adicionales de los 15 últimos gráficos en el **Apéndice C**), lo cual resulta coherente con nuestra idea de dirigirnos hacia mejores condiciones de experimentación que la de partida, en nuestro contexto de maximización de la probabilidad de éxito. Por estos motivos, no vemos demasiado problemático el hecho de “pasarnos” del máximo con el segundo salto.

#### 9.4. El penúltimo paso

Como señalamos anteriormente, creemos que este enfoque secuencial puede ser de gran utilidad para el responsable de procesos de control de proporciones de ciertos productos, en general de industrias manufactureras, y que le aportarán un mayor panorama a la hora de diseñar su estrategia de mejora de las características de calidad del mismo. Tan aplicable resulta esto a productos como a procesos. Coincidimos plenamente con la opinión generalizada en la que es necesario no sólo continuar experimentando luego de haber conseguido una mejora sustancial en nuestro proceso, sino también que el aporte de conocimiento adicional por parte del personal idóneo es un pilar fundamental para mejorar aún más el aprendizaje del proceso que se intenta optimizar. El presupuesto y el manejo racional de los recursos, asociado a los intereses

de la Dirección en su planeamiento estratégico, indicará cuál será el límite de este proceso de mejora mediante el diseño de experimentos o mediante otras técnicas de mejora.

En este sentido, el título de esta última sección intenta reflejar esta última idea<sup>2</sup>, que no es en absoluto nuestro último paso del trabajo que hemos realizado en esta tesis:

- *¿Qué hacer luego de haber conseguido mejorar un sistema?*
- *Lógico. Continuar mejorándolo.*

En el capítulo siguiente, las conclusiones, intentaremos sintetizar lo que hemos podido observar y aprender de los casos estudiados y también analizar lo más críticamente posible los alcances conseguidos para este trabajo. Plantearemos, asimismo, algunas posibles futuras líneas de investigación que podrían derivarse, lo cual podría resultar útil para continuar aprendiendo más este tipo de procesos.

---

<sup>2</sup>Esta idea la tomamos prestada de un gran cartel que se encontraba colgado en los pasillos de la división de IBM Sistemas de Impresión —llamada en ese entonces *Pennant*— de la oficina central de la corporación IBM de Argentina, en el año 1995.