

Apéndice B: Resultados de las pruebas de modelado

Este apéndice contiene, resumidos, los resultados de los tres problemas que se modelan en el capítulo 5. El resumen de una ejecución se compone de 2 páginas. En la primera se encuentran los datos que caracterizan el problema y los resultados del algoritmo de EP y en la segunda página hay una comparación de los mejores modelos obtenidos. Cuando una ejecución ha obtenido resultados destacables, entonces se amplía el resumen con una página por cada modelo neuronal de interés, con una descripción completa de éste.

La página de resumen del problema contiene, de arriba abajo: los parámetros del algoritmo de EP, las funciones de error utilizadas, dos gráficas que representan la evolución del mínimo alcanzado a lo largo del proceso, el valor numérico del mínimo, información adicional sobre el proceso de optimización y las funciones de transferencia de los sistemas lineales que actúan como información previa.

La página de los mejores modelos contiene cuatro gráficas en las que se comparan los 20 mejores modelos de la ejecución. En las dos superiores se representa la bondad de cada modelo (en términos de sus índices ISE e IAE) respecto a su complejidad, que es el número de parámetros variables de cada uno. En las dos gráficas inferiores se considera también el criterio de bondad empleado en el proceso de optimización evolutiva (generalmente FPE y AIC). La gráfica izquierda presenta una comparación absoluta de los valores de bondad y la de la derecha muestra la bondad respecto a la complejidad del modelo.

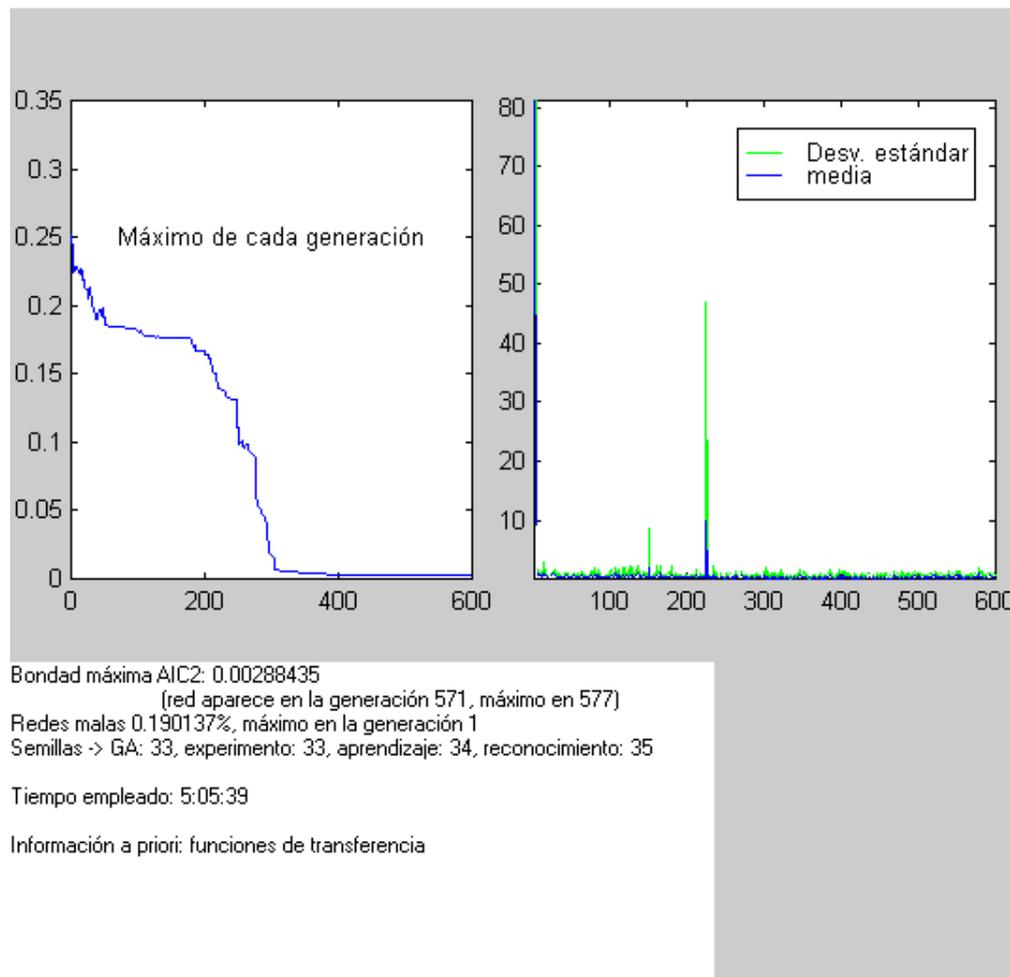
Finalmente, las páginas de descripción de los modelos contienen, de arriba abajo: la lista de módulos que componen el modelo; tres gráficas que representan la salida obtenida y la salida del modelo, el error, y un test de correlación entre los errores y la entrada al 97.5% de confianza; por último, está la matriz de adyacencia de la red, con la que se puede construir la red de módulos.

En el problema del elemento piezoeléctrico las páginas de descripción de los modelos son diferentes. En ellas se ha dado más importancia a la comparación entre la salida del modelo y la salida deseada, ocupando más espacio en el centro. Hay cuatro gráficas en las que se compara la salida del modelo con la real. De esta manera, es más sencillo evaluar la respuesta del modelo en cada una de las cuatro series de entrada.

B.1 Resultados de modelado del motor de corriente continua simulado

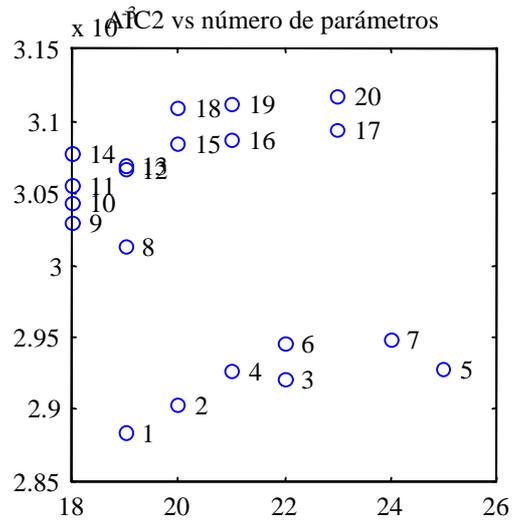
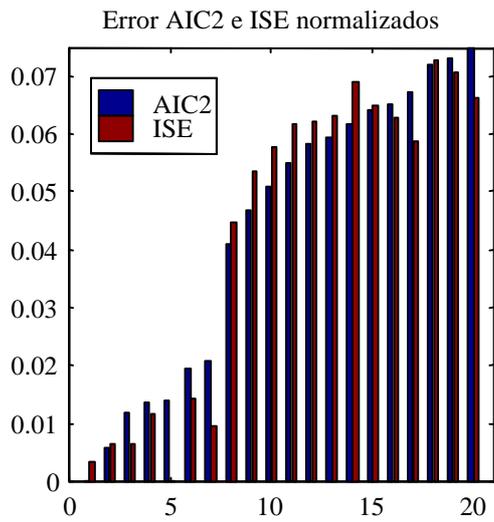
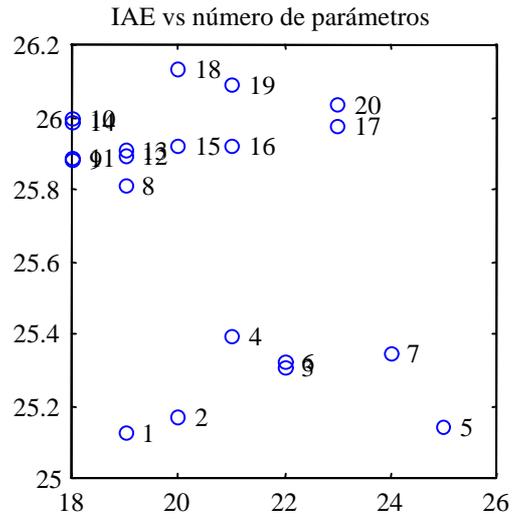
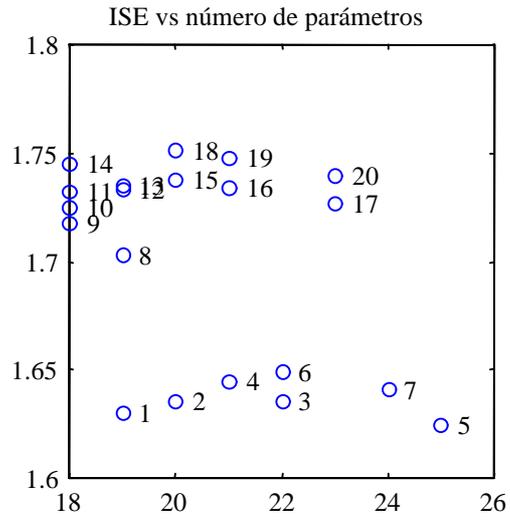
Prueba 1, experimento 3: resumen de ejecución

Fichero de datos: aic2motor1-3 Experimento: 3
 Población -> Individuos: 15 Generaciones: 600 Redes evaluadas: 8415
 Selección -> Tipo de selección: 2 Tamaño de las competiciones: 2
 Mutación -> Prob. mutar función: 0.8 Incremento máximo en los parámetros: 0.7
 Evaluación -> Función de error: AIC2 Función de error en las redes: ISE Datos con ruido: NO



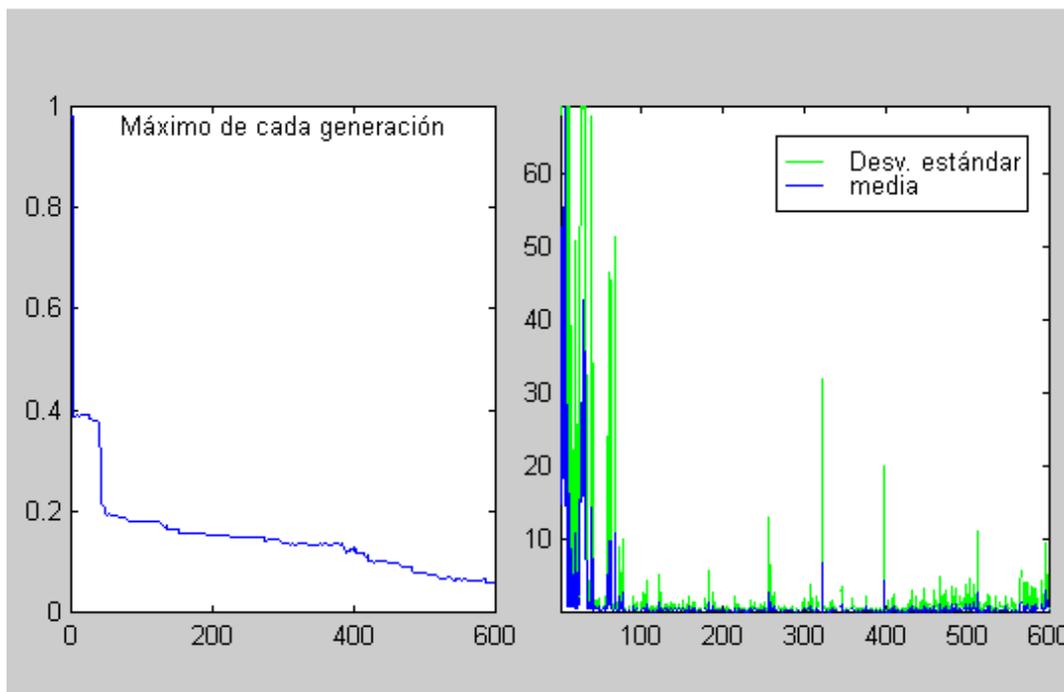
1.1 225 247.5

 0.4 s + 1 s² + 15 s + 225 0.4 s³ + 7 s² + 105 s + 225



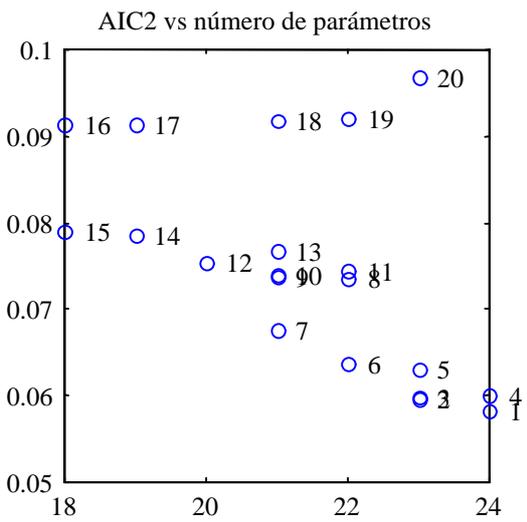
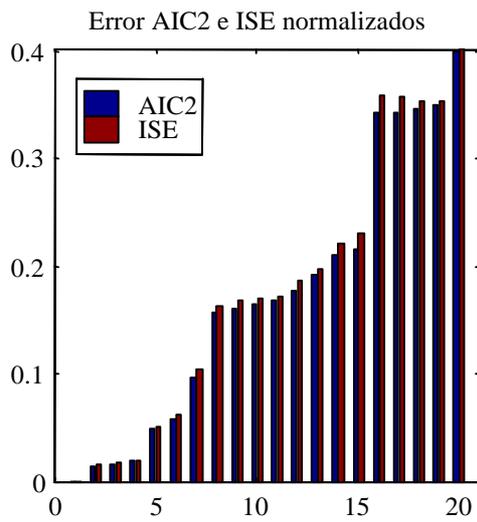
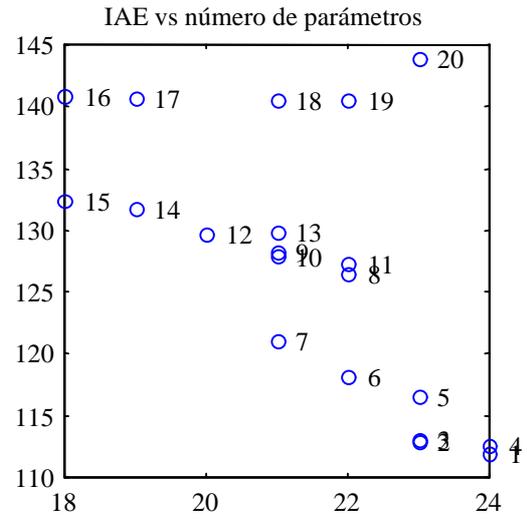
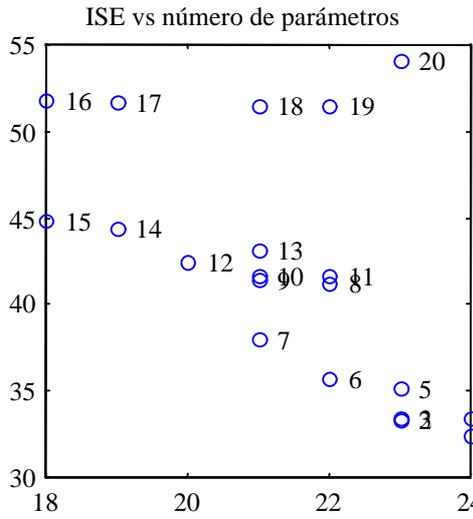
Prueba 1, experimento 5, resumen de ejecución

Fichero de datos: aic2motor1-5 Experimento: 5
 Población -> Individuos: 15 Generaciones: 600 Redes evaluadas: 8415
 Selección -> Tipo de seleccion: 2 Tamaño de las competiciones: 2
 Mutación -> Prob. mutar función: 0.8 Incremento máximo en los parámetros: 0.7
 Evaluación -> Función de error: AIC2 Función de error en las redes: ISE Datos con ruido: NO

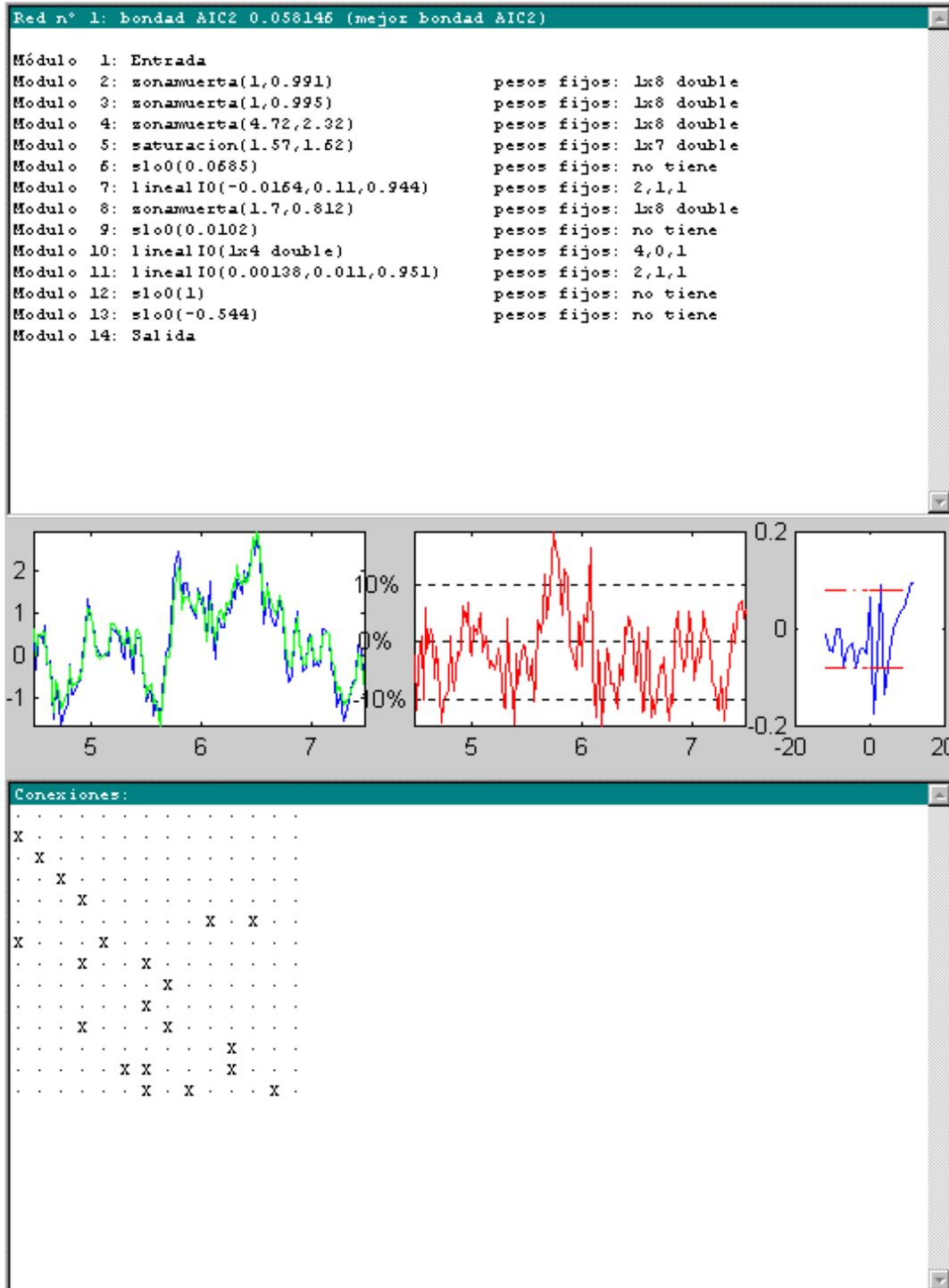


Bondad máxima AIC2: 0.0581456
 (red aparece en la generación 561, máximo en 589)
 Redes malas 0.308972%, máximo en la generación 1
 Semillas -> GA: 55, experimento: 55, aprendizaje: 56, reconocimiento: 57
 Tiempo empleado: 3:34:17
 Información a priori: funciones de transferencia

$$\begin{array}{r}
 1.1 \\
 \hline
 0.4 s + 1
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{r}
 225 \\
 \hline
 s^2 + 15 s + 225
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{r}
 247.5 \\
 \hline
 0.4 s^3 + 7 s^2 + 105 s + 225
 \end{array}$$

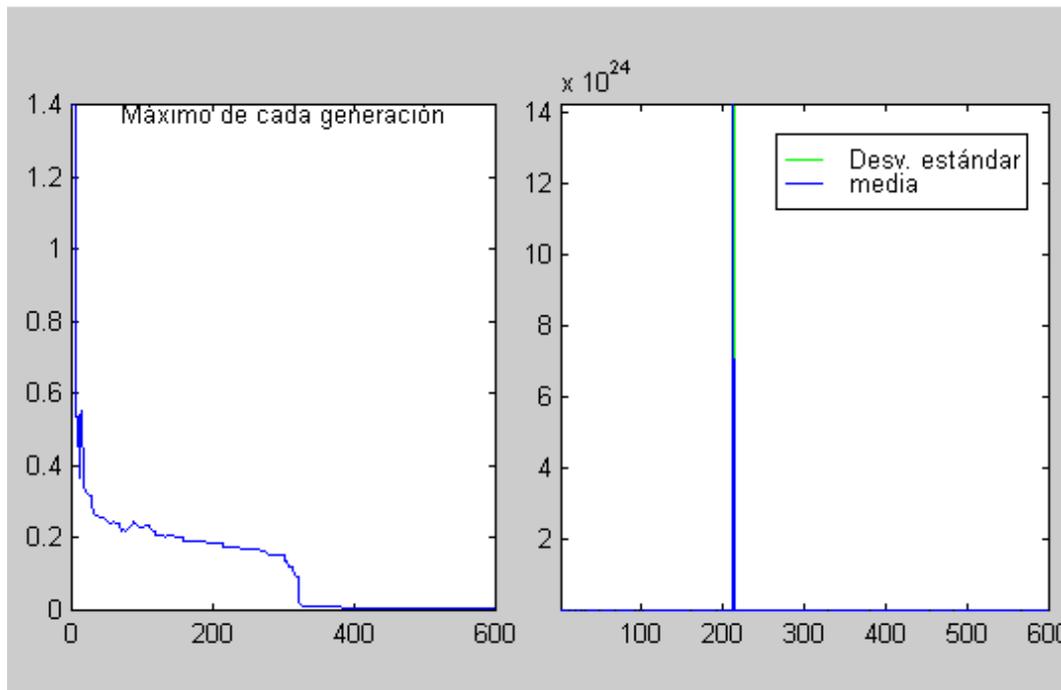


Prueba 1, experimento 5, red modular n° 1



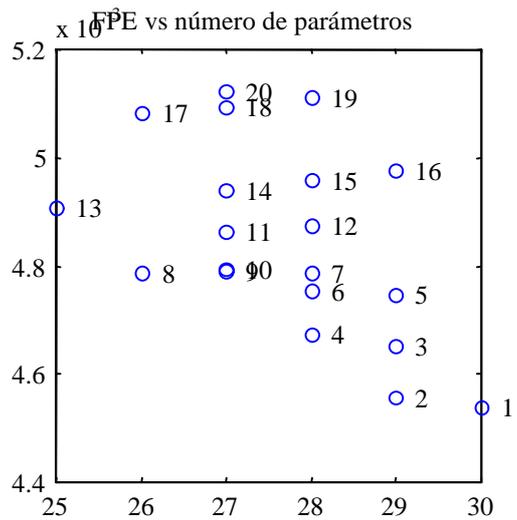
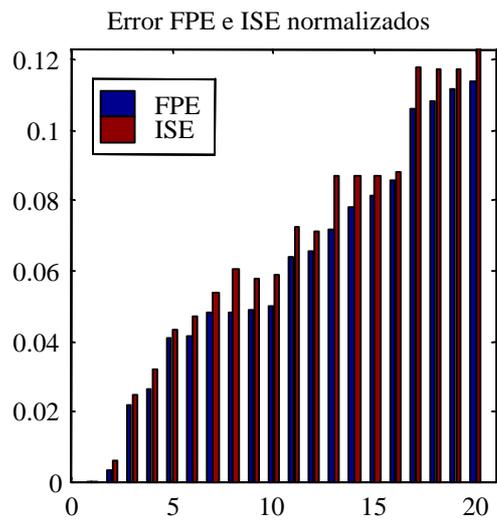
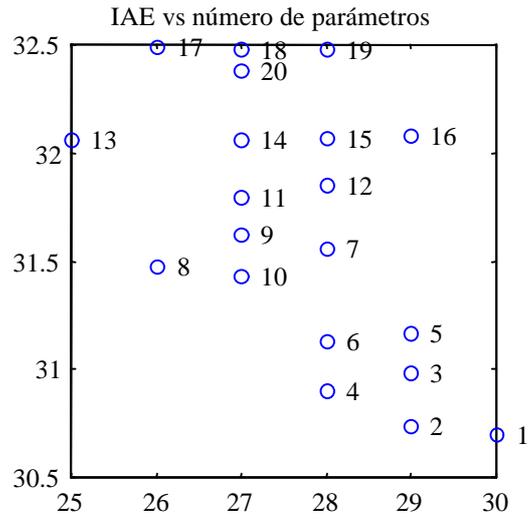
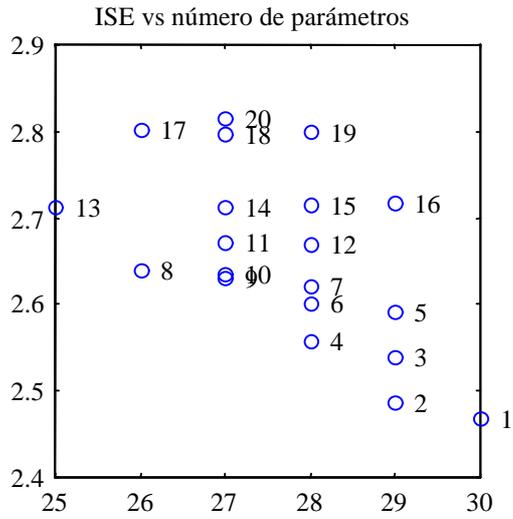
Prueba 2, experimento 1, resumen de ejecución

Fichero de datos: fpemotor1-1 Experimento: 1
 Población -> Individuos: 15 Generaciones: 600 Redes evaluadas: 8415
 Selección -> Tipo de seleccion: 2 Tamaño de las competiciones: 2
 Mutación -> Prob. mutar función: 0.8 Incremento máximo en los parámetros: 0.7
 Evaluación -> Función de error: FPE Función de error en las redes: ISE Datos con ruido: NO

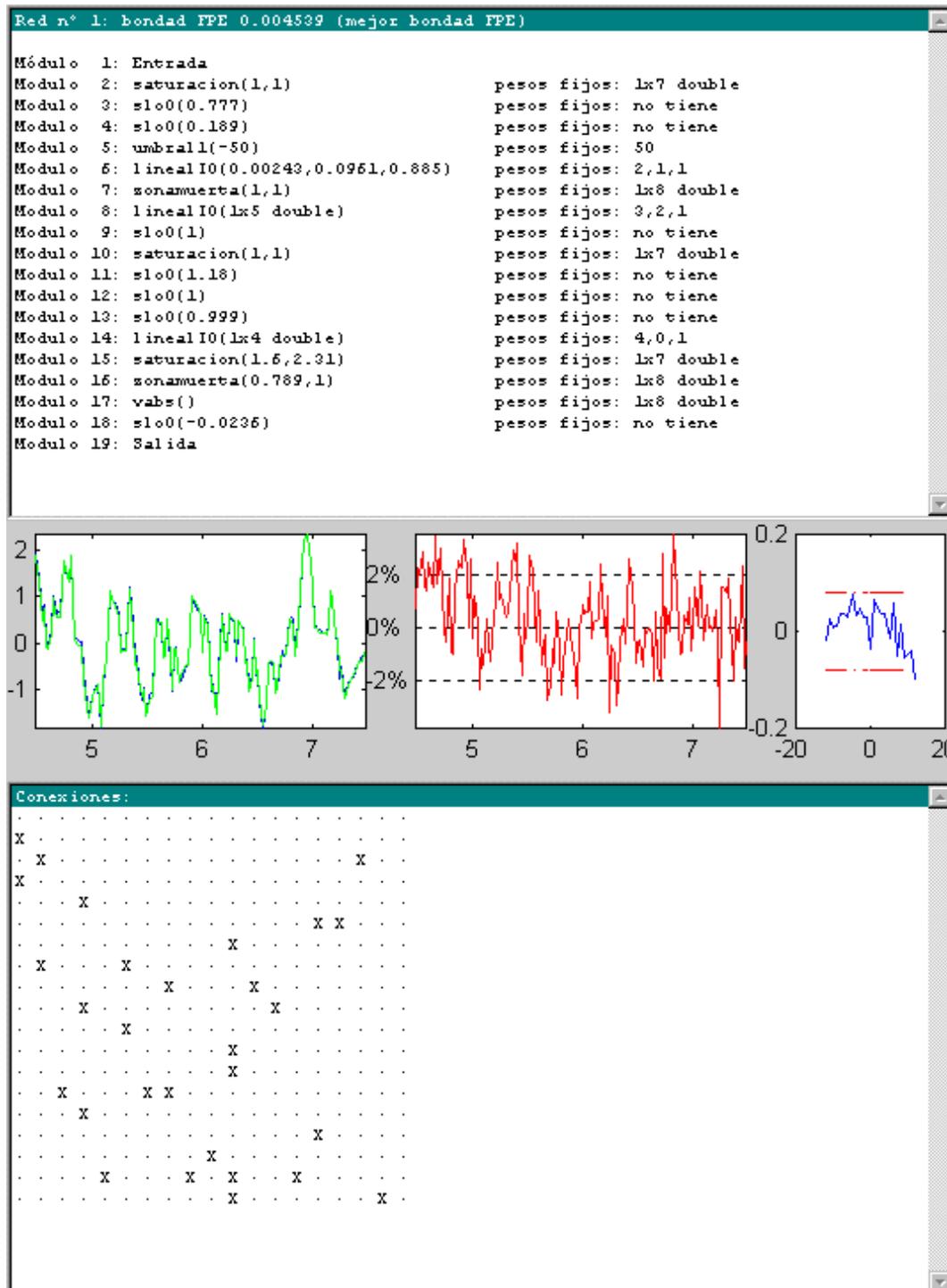


Bondad máxima FPE: 0.00453941
 (red aparece en la generación 593, máximo en 593)
 Redes malas 0.261438%, máximo en la generación 1
 Semillas -> GA: 11, experimento: 11, aprendizaje: 12, reconocimiento: 13
 Tiempo empleado: 4:09:11
 Información a priori: funciones de transferencia

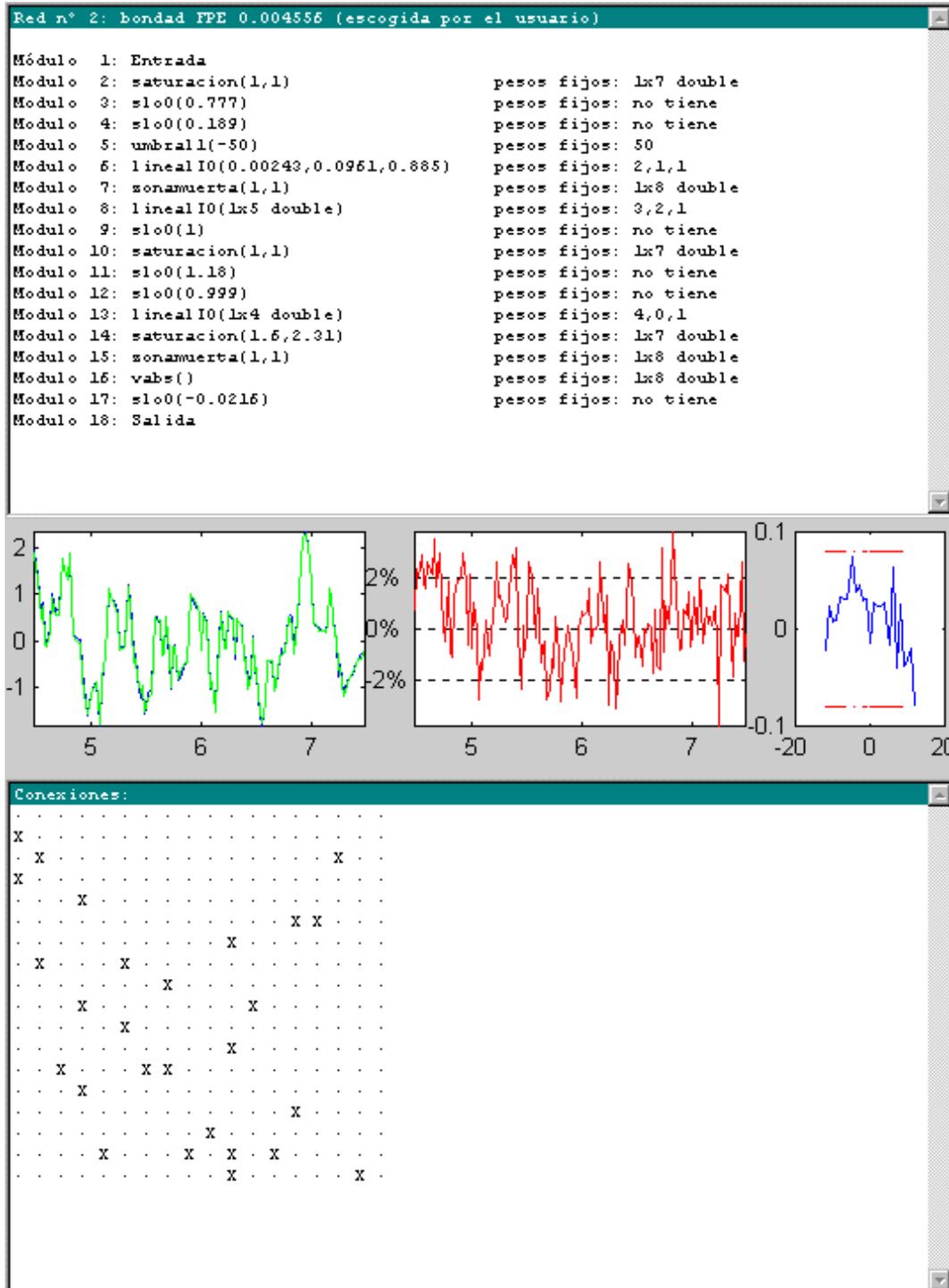
$$\begin{array}{ccc}
 1.1 & 225 & 247.5 \\
 \hline
 0.4 s + 1 & s^2 + 15 s + 225 & 0.4 s^3 + 7 s^2 + 105 s + 225
 \end{array}$$



Prueba 2, experimento 1, red modular n° 1

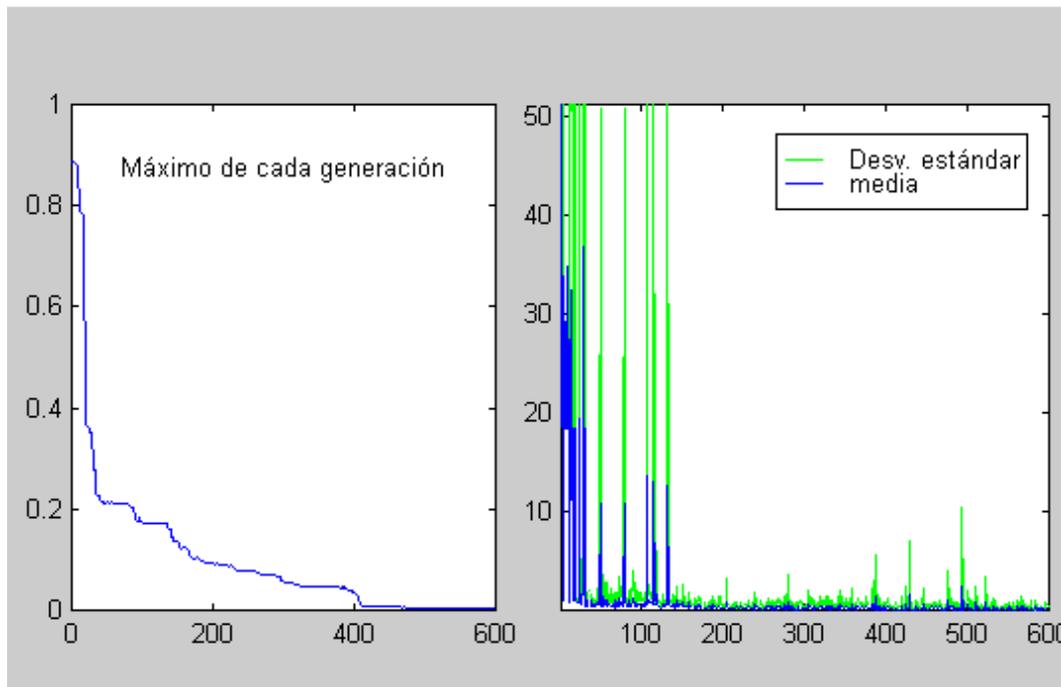


Prueba 2, experimento 1, red modular n° 2



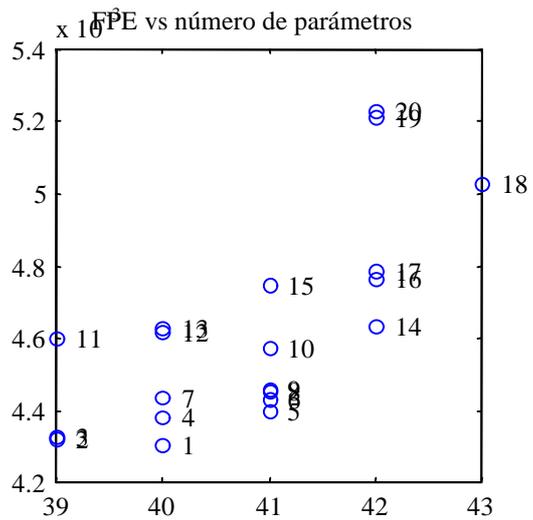
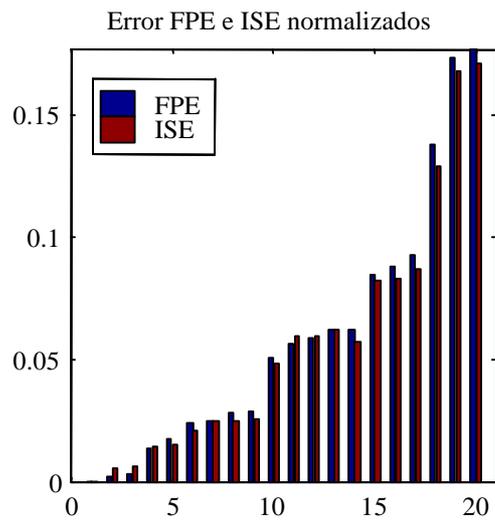
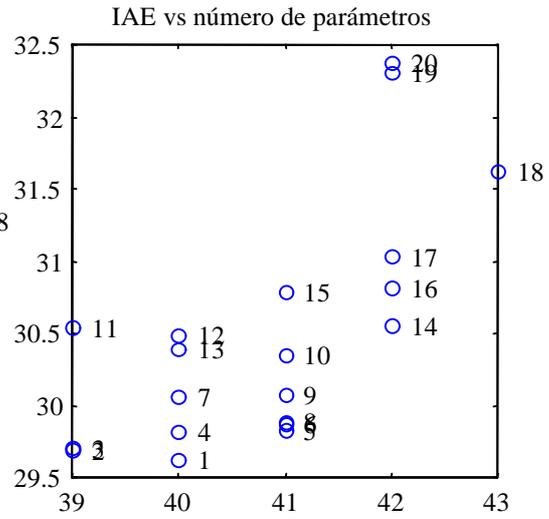
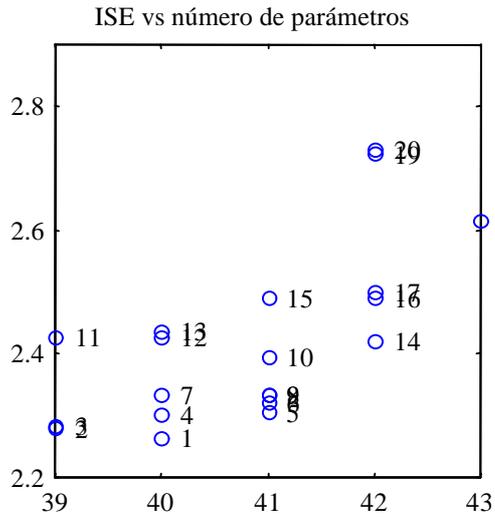
Prueba 2, experimento 7, resumen de ejecución

Fichero de datos: fpemotor1-7 Experimento: 7
 Población -> Individuos: 15 Generaciones: 600 Redes evaluadas: 8415
 Selección -> Tipo de seleccion: 2 Tamaño de las competiciones: 2
 Mutación -> Prob. mutar función: 0.8 Incremento máximo en los parámetros: 0.7
 Evaluación -> Función de error: FPE Función de error en las redes: ISE Datos con ruido: NO



Bondad máxima FPE: 0.00430528
 (red aparece en la generación 589, máximo en 600)
 Redes malas 0.16637%, máximo en la generación 1
 Semillas -> GA: 77, experimento: 77, aprendizaje: 78, reconocimiento: 79
 Tiempo empleado: 8:39:43
 Información a priori: funciones de transferencia

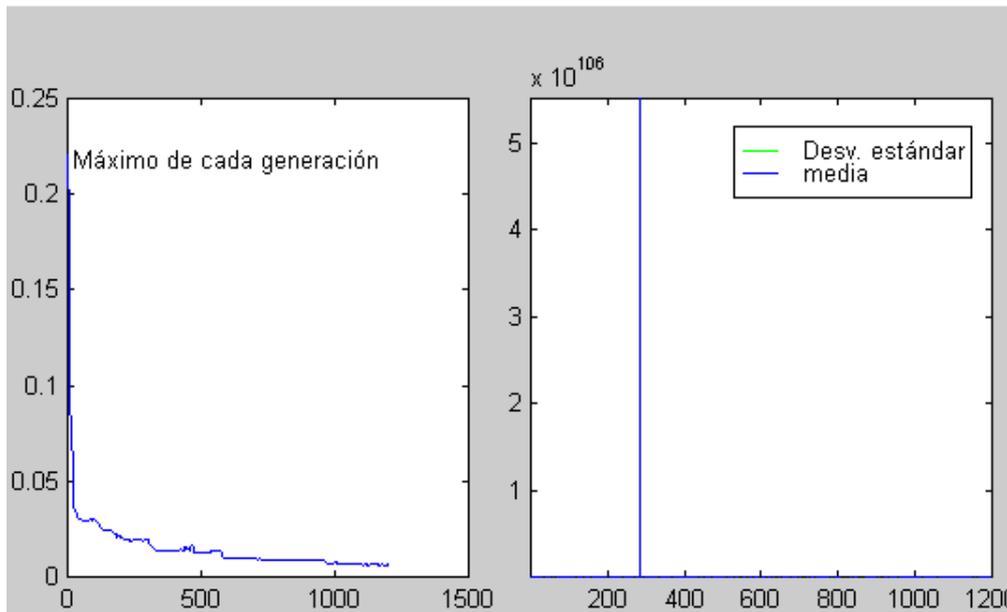
1.1	225	247.5
-----	-----	-----
$0.4 s + 1$	$s^2 + 15 s + 225$	$0.4 s^3 + 7 s^2 + 105 s + 225$



B.2 Resultados de modelado del sistema con histéresis

Prueba 2, experimento 1, resumen de ejecución

Fichero de datos: aic2normal1 Experimento: 1
 Población -> Individuos: 15 Generaciones: 1200 Redes evaluadas: 16815
 Selección -> Tipo de selección: 2 Tamaño de las competiciones: 2
 Mutación -> Prob. mutar función: 0.8 Incremento máximo en los parámetros: 0.7
 Evaluación -> Función de error: AIC2 Función de error en las redes: ISE Datos con ruido: NO



Bondad máxima AIC2: 0.00623324
 (red aparece en la generación 1107, máximo en 1107)
 Redes malas 6.41094%, máximo en la generación 7
 Semillas -> GA: 11, experimento: 11, aprendizaje: 12, reconocimiento: 14

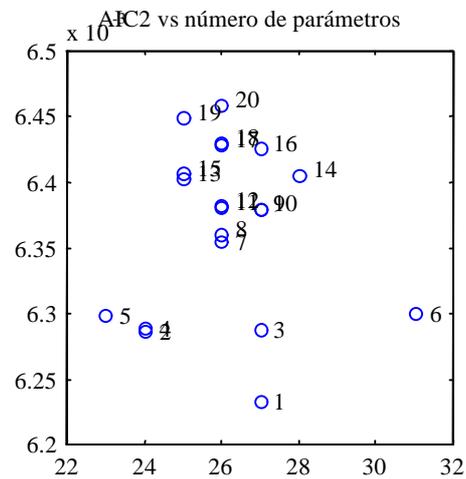
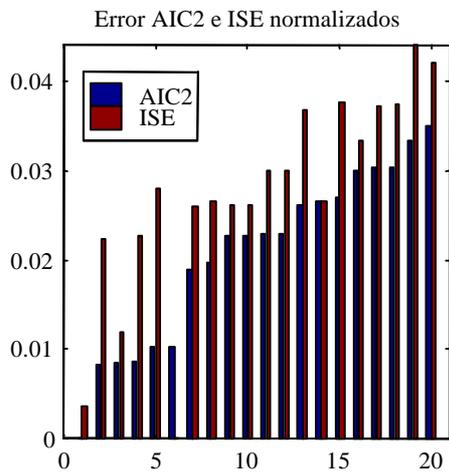
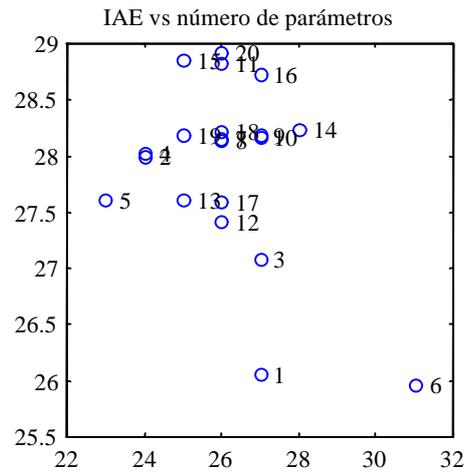
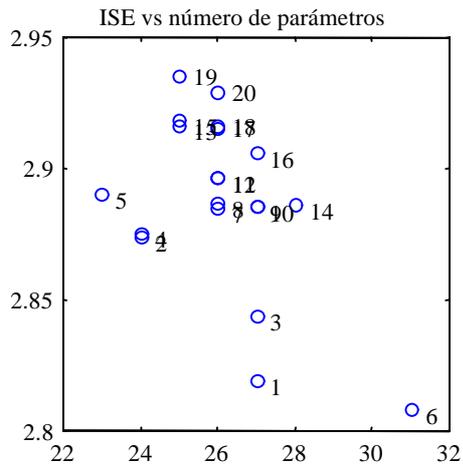
Tiempo empleado: -732:03:14

Información a priori: funciones de transferencia

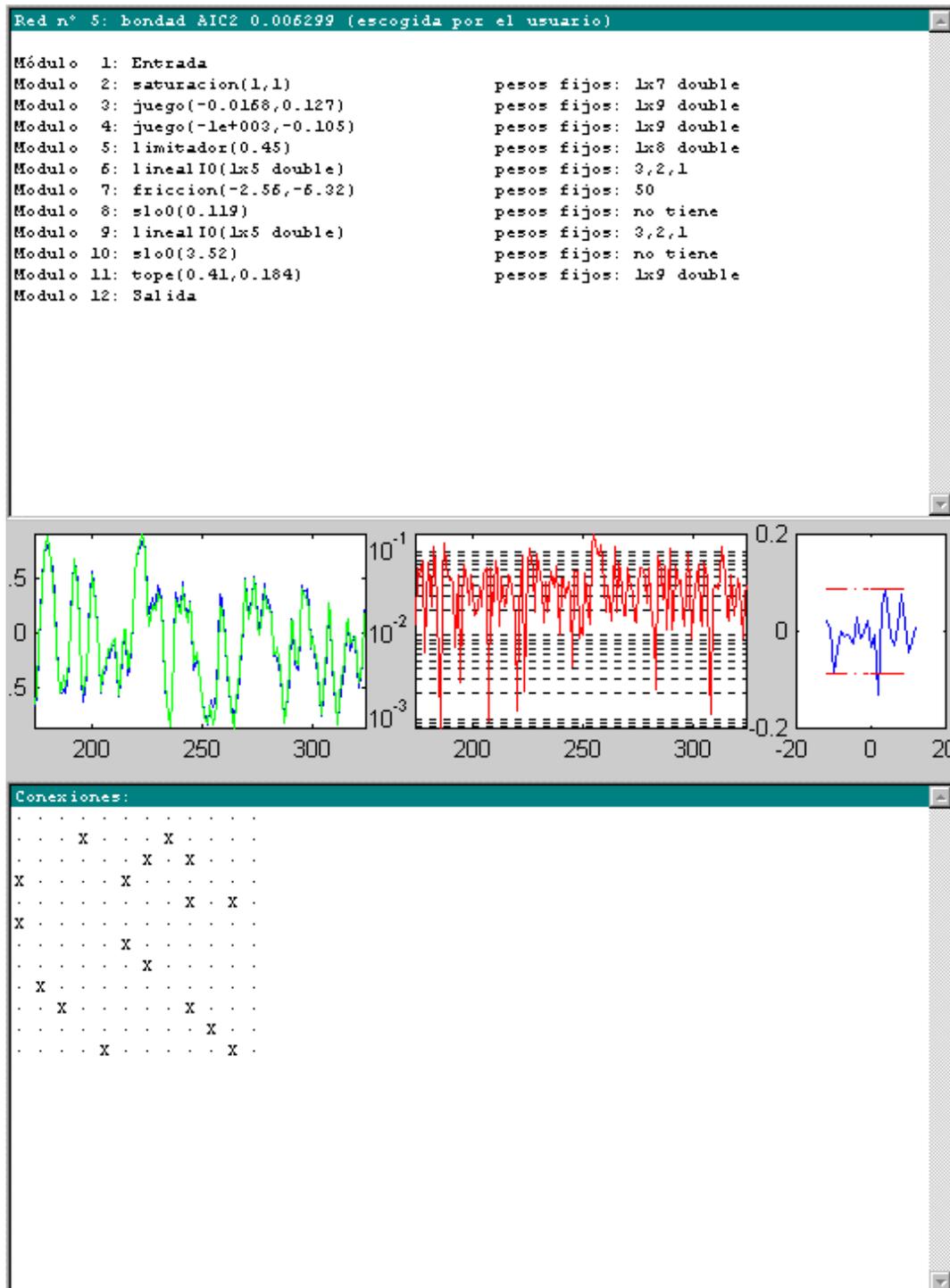
$$\frac{1}{5s + 1}$$

$$\frac{1.1}{s^2 + 1.4s + 1}$$

1
 Input delay: 2

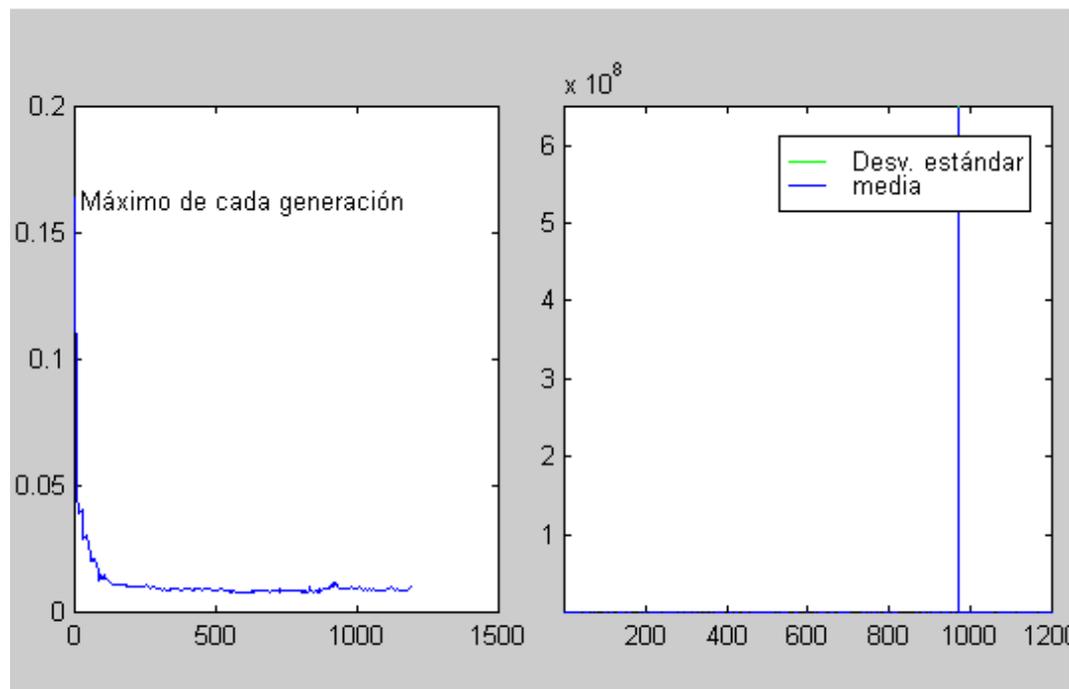


Prueba 2, experimento 1, red modular n° 5



Prueba 2, experimento 8, resumen de ejecución

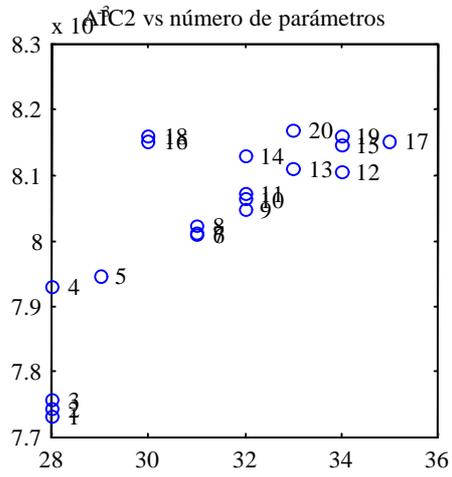
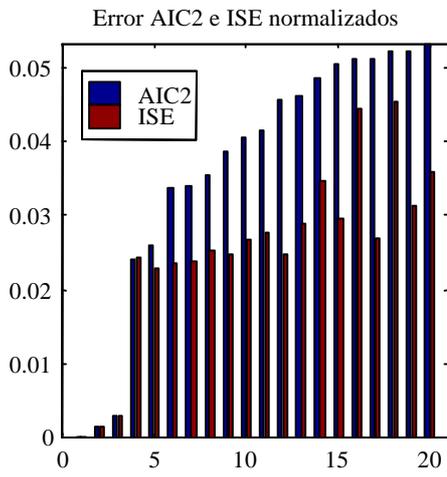
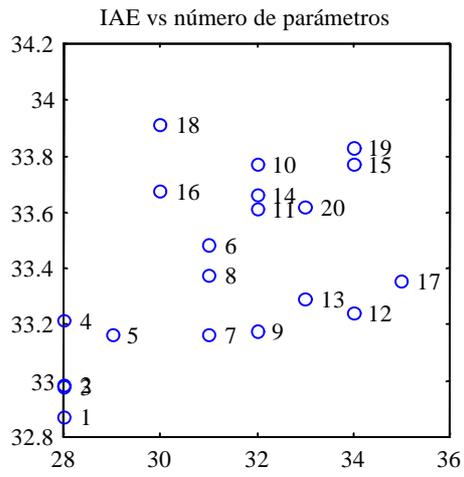
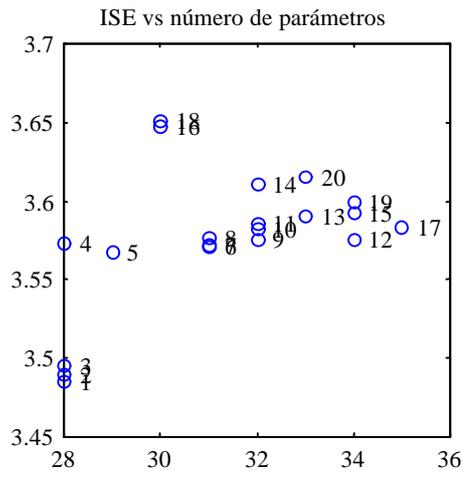
Fichero de datos: aic2normal8 Experimento: 8
 Población -> Individuos: 15 Generaciones: 1200 Redes evaluadas: 16815
 Selección -> Tipo de seleccion: 2 Tamaño de las competiciones: 2
 Mutación -> Prob. mutar función: 0.8 Incremento máximo en los parámetros: 0.7
 Evaluación -> Función de error: AIC2 Función de error en las redes: ISE Datos con ruido: NO



Bondad máxima AIC2: 0.00773365
 (red aparece en la generación 576, máximo en 583)
 Redes malas 10.4312%, máximo en la generación 8
 Semillas -> GA: 88, experimento: 88, aprendizaje: 89, reconocimiento: 91
 Tiempo empleado: -721:56:34
 Información a priori: funciones de transferencia

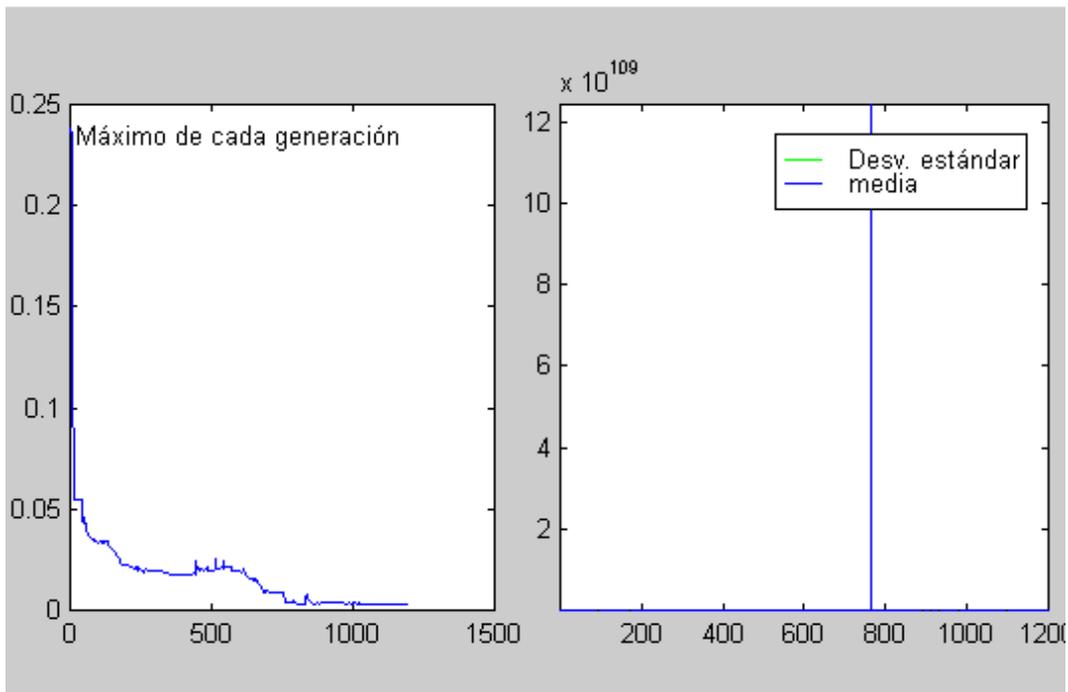
$$\frac{1}{5s + 1} \quad \frac{1.1}{s^2 + 1.4s + 1}$$

1
 Input delay: 2



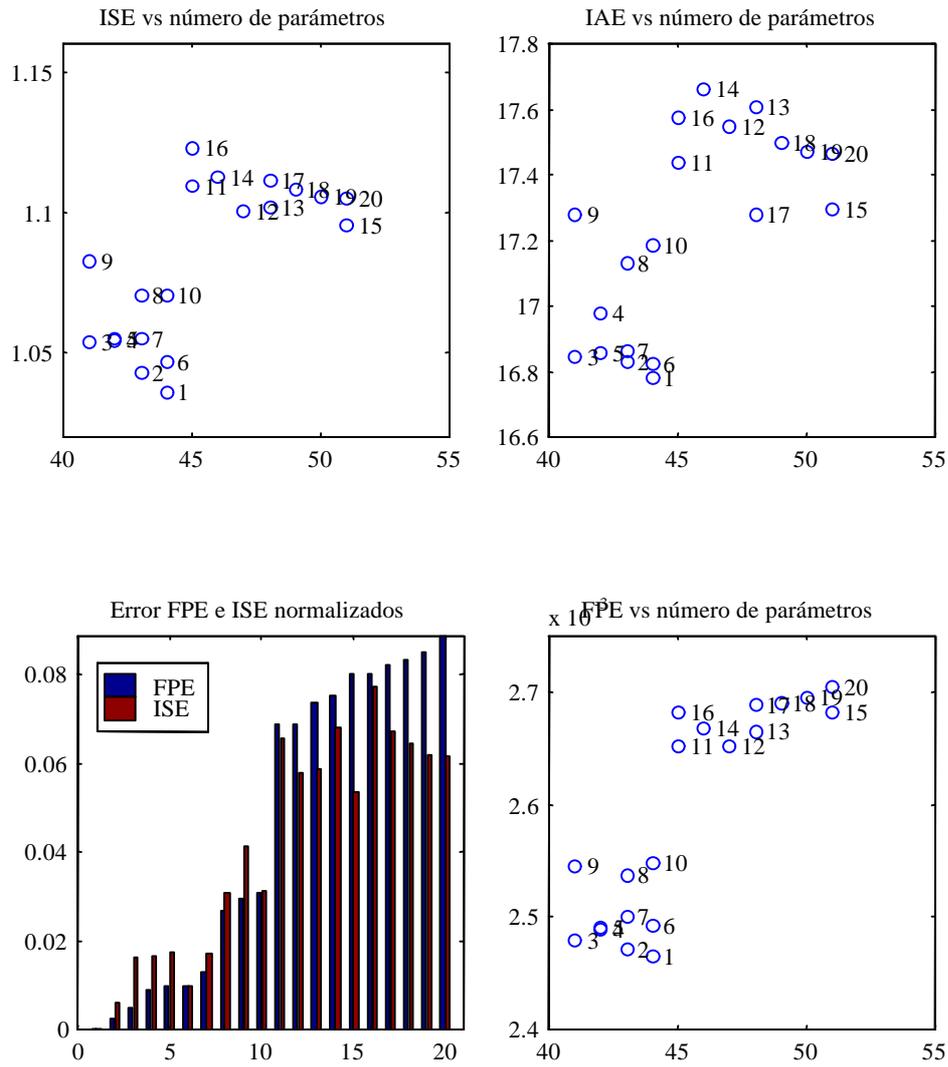
Prueba 3, experimento 6, resumen de ejecución

Fichero de datos: fpenormal6 Experimento: 6
 Población -> Individuos: 15 Generaciones: 1200 Redes evaluadas: 16815
 Selección -> Tipo de seleccion: 2 Tamaño de las competiciones: 2
 Mutación -> Prob. mutar función: 0.8 Incremento máximo en los parámetros: 0.7
 Evaluación -> Función de error: FPE Función de error en las redes: ISE Datos con ruido: NO



Bondad máxima FPE: 0.0024658
 (red aparece en la generación 1154, máximo en 1159)
 Redes malas 0.880167%, máximo en la generación 3
 Semillas -> GA: 66, experimento: 66, aprendizaje: 67, reconocimiento: 69
 Tiempo empleado: 9:12:56
 Información a priori: funciones de transferencia

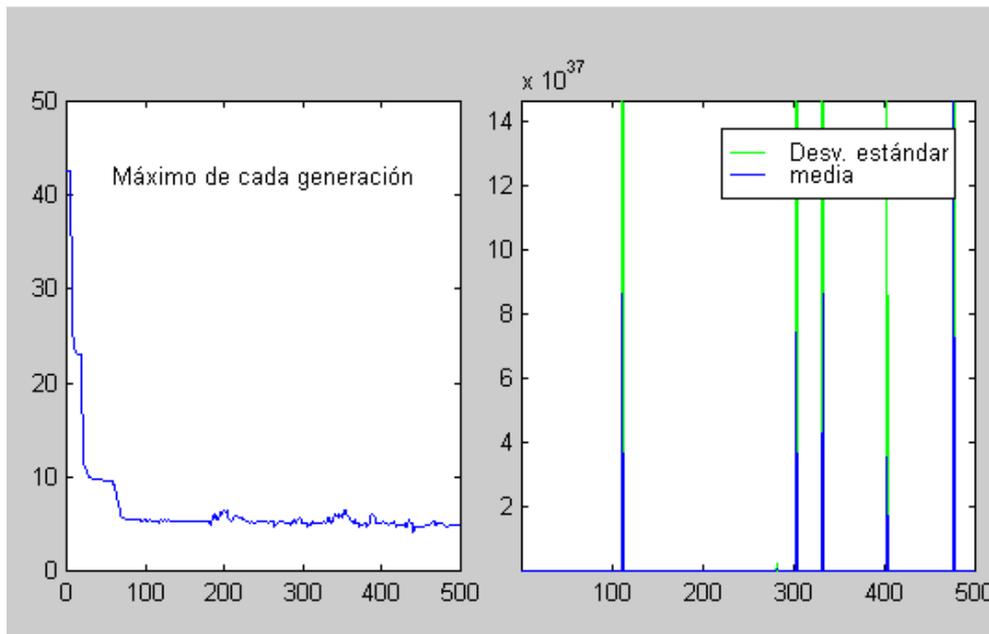
$$\frac{1}{5s + 1} \quad \frac{1.1}{s^2 + 1.4s + 1} \quad \frac{1}{s} \quad \text{Input delay: } 2$$



B.3 Resultados de modelado del elemento piezoeléctrico

Prueba previa 3 (juego), criterio AIC, experimento 2, resumen de ejecución

Fichero de datos: aic2piezojuego2 Experimento: 2
 Población -> Individuos: 15 Generaciones: 500 Redes evaluadas: 7015
 Selección -> Tipo de selección: 2 Tamaño de las competiciones: 2
 Mutación -> Prob. mutar función: 0.8 Incremento máximo en los parámetros: 0.7
 Evaluación -> Función de error: AIC2 Función de error en las redes: ISE Datos con ruido: 3

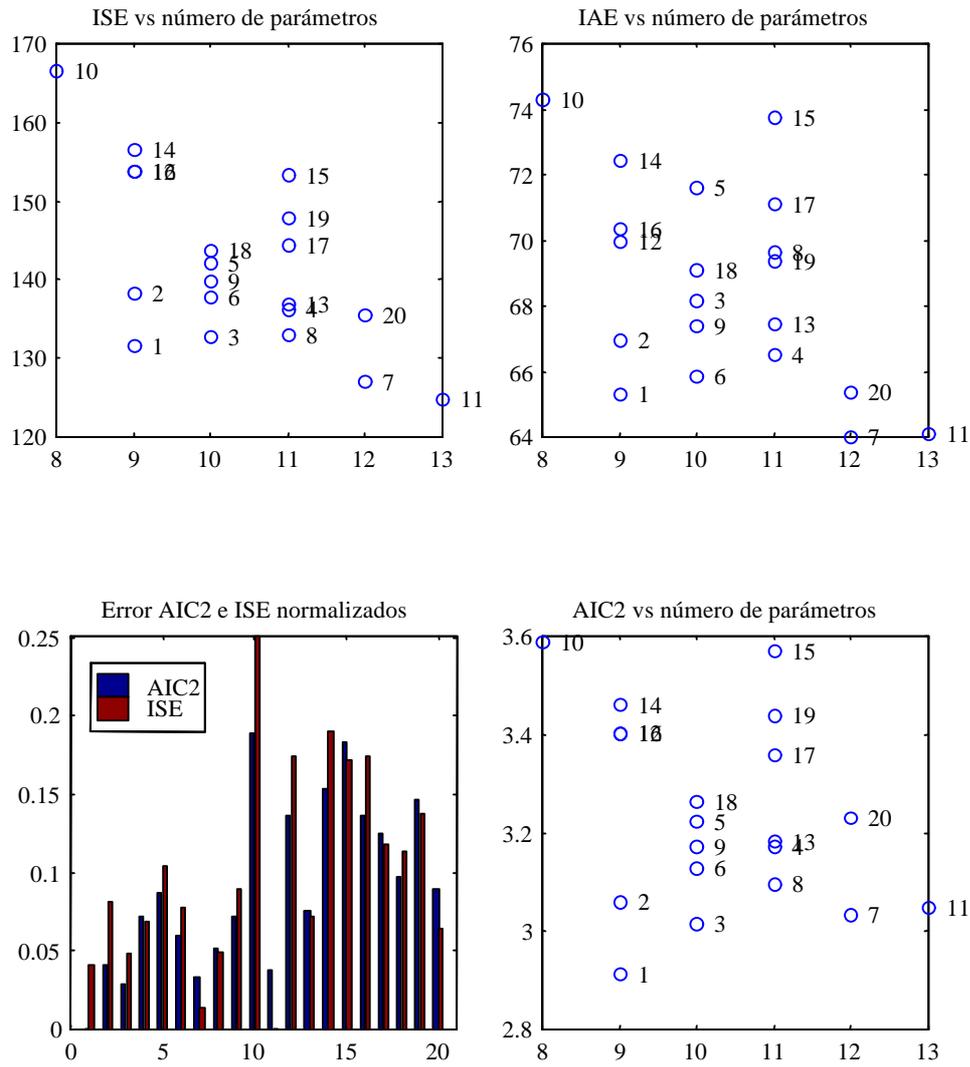


Bondad máxima AIC2: 4.15711
 (red aparece en la generación 436, máximo en 440)
 Redes malas 0%, máximo en la generación 0
 Semillas -> GA: 22, experimento: 22, aprendizaje: 23, reconocimiento: 24
 Tiempo empleado: 0:44:12
 Información a priori: funciones de transferencia

$$\frac{1}{10s + 1}$$

$$\frac{0.0225}{s^2 + 0.15s + 0.0225}$$

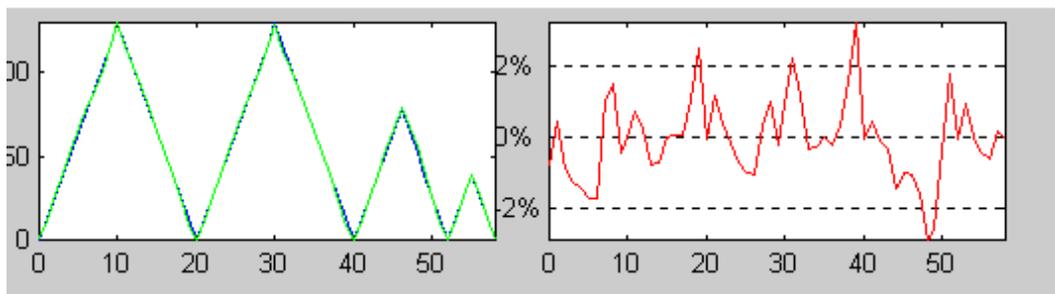
1
 Input delay: 0.1



Prueba previa 3 (juego), criterio AIC, experimento 2, red modular n° 1

Red n° 1: bondad FPE: 3.034812, AIC2: 2.912270, ISE: 131.657306, IAE: 65.338524

Módulo 1:	Entrada	
Módulo 2:	juego(1.28,0.401)	pesos fijos: 1x9 double
Módulo 3:	slo0(1.11)	pesos fijos: no tiene
Módulo 4:	umbral2(-49.7,-3.67,-3.36)	pesos fijos: 50
Módulo 5:	signo()	pesos fijos: 50
Módulo 6:	juego(2.55,2.22)	pesos fijos: 1x9 double
Módulo 7:	slo0(0.727)	pesos fijos: no tiene
Módulo 8:	Salida	



Conexiones:

 X
 . X
 . X
 . . . X
 . X . X
 . X X . . . X
 X X X . X . X

Prueba previa 5 (limitador de vel.), criterio AIC, experimento 3, resumen de ejecución

Fichero de datos: aic2piezorlim3

Experimento: 3

Población -> Individuos: 15

Generaciones: 173

Redes evaluadas: 2437

Selección -> Tipo de seleccion: 2

Tamaño de las competiciones: 2

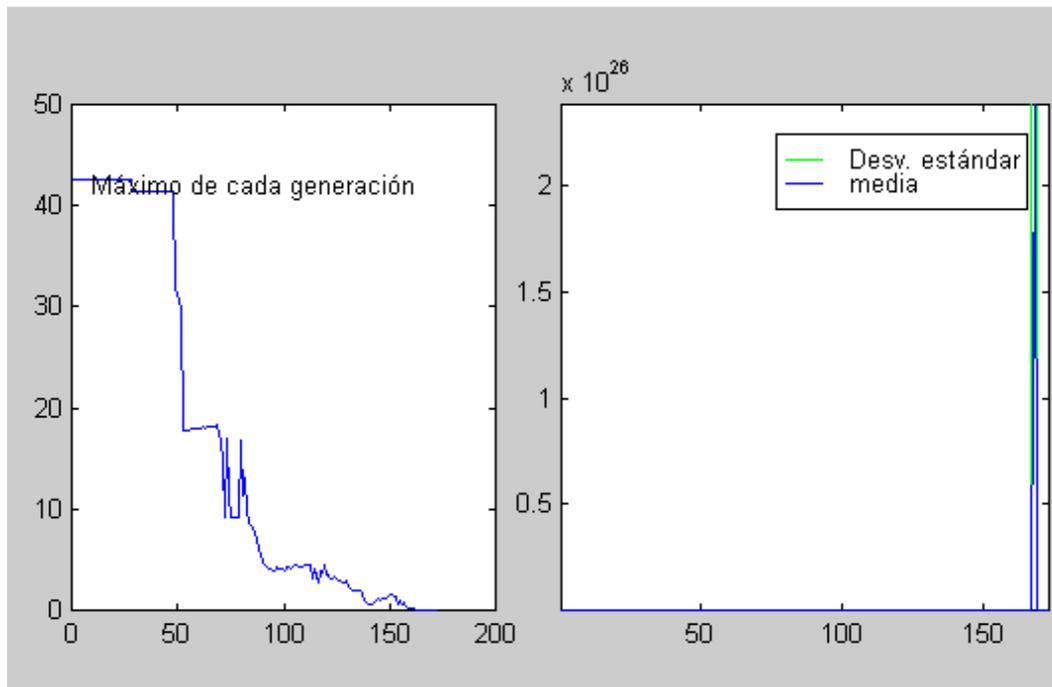
Mutación -> Prob. mutar función: 0.8

Incremento máximo en los parámetros: 0.7

Evaluación -> Función de error: AIC2

Función de error en las redes: ISE

Datos con ruido: 5



Bondad máxima AIC2: 0.00960791

(red aparece en la generación 173, máximo en 173)

Redes malas 0%, máximo en la generación 0

Semillas -> GA: 33, experimento: 33, aprendizaje: 34, reconocimiento: 35

Tiempo empleado: 0:01:54

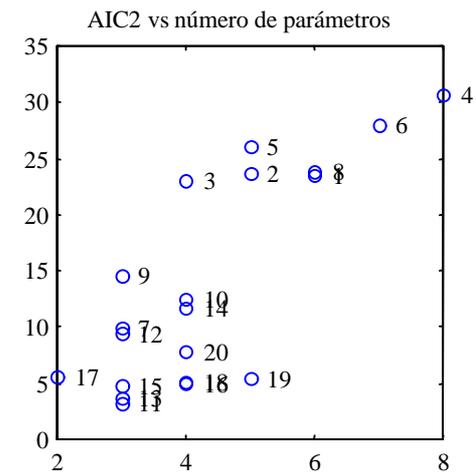
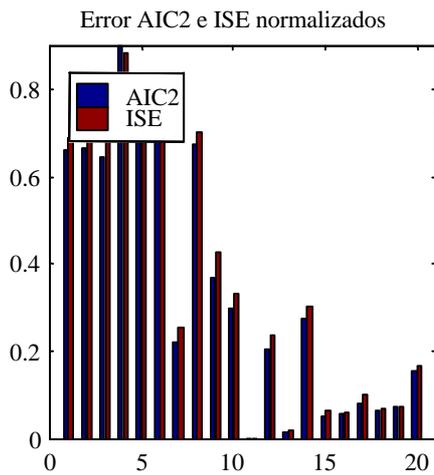
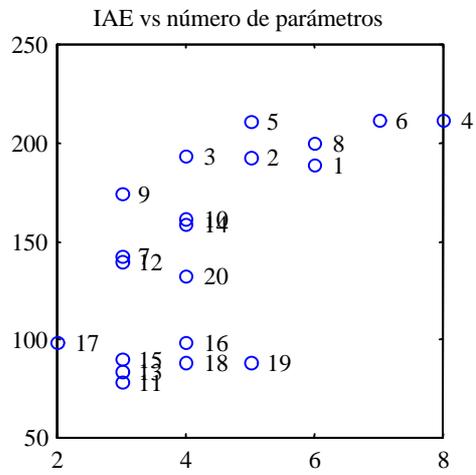
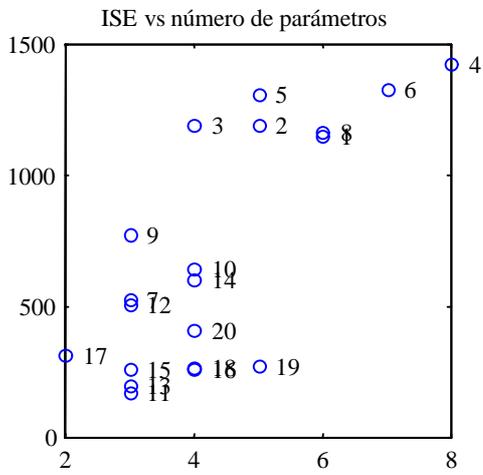
Información a priori: funciones de transferencia

$$\frac{1}{10s + 1}$$

$$\frac{0.0225}{s^2 + 0.15s + 0.0225}$$

1

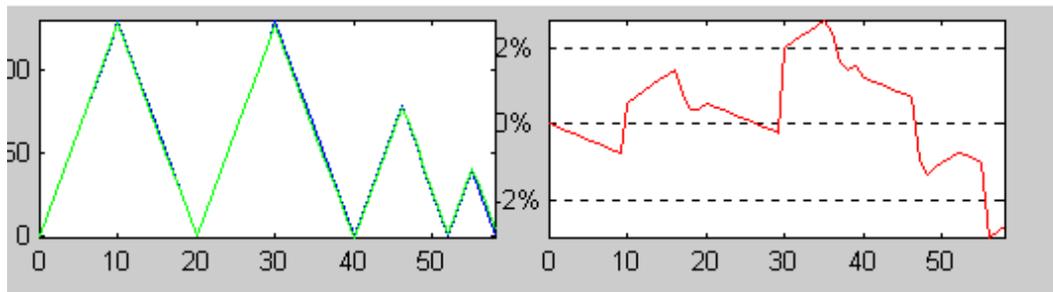
Input delay: 0.1



Prueba previa 5 (limitador de vel.), criterio AIC, experimento 3, red modular n° 6

Red n° 6: bondad FPE: 3.158192, AIC2: 3.142652, ISE: 168.301086, IAE: 78.706402

Módulo 1: Entrada	
Módulo 2: limitador(-0.0402)	pesos fijos: 1x8 double
Módulo 3: limitador(4.87)	pesos fijos: 1x8 double
Módulo 4: s1o0(2.7)	pesos fijos: no tiene
Módulo 5: Salida	

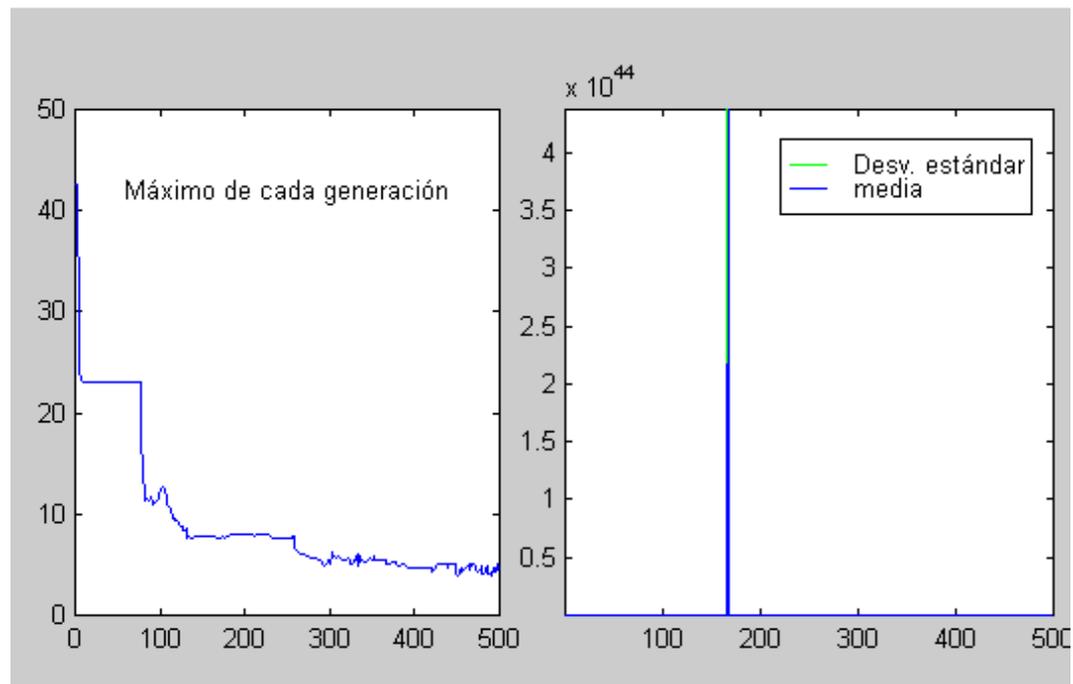


Conexiones:

 X
 X
 . . X . .
 . X . X .

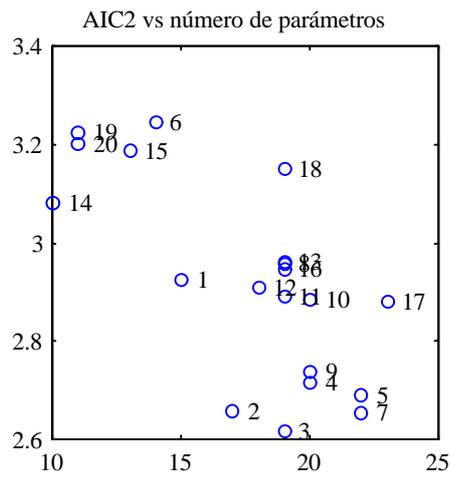
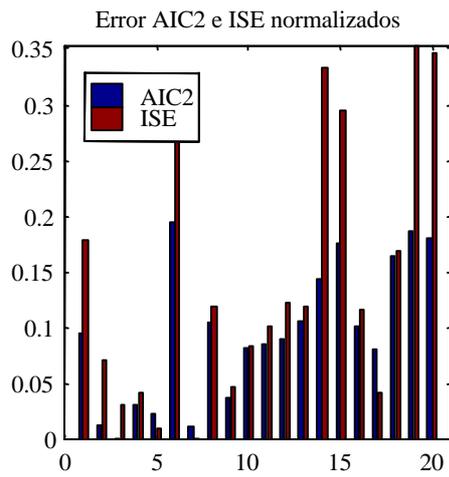
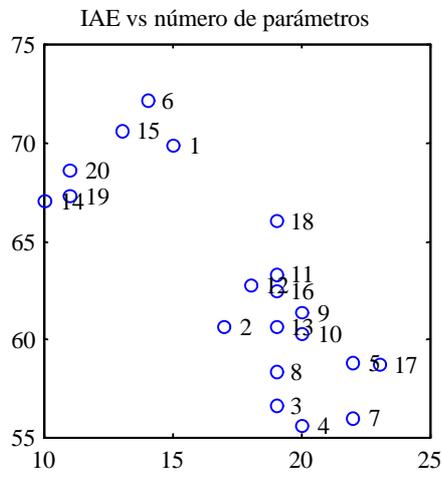
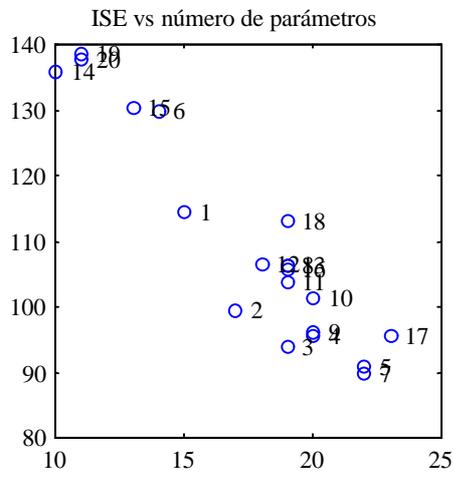
Prueba definitiva 1, criterio AIC, experimento 1, resumen de ejecución

Fichero de datos: aic2piezotodos1 Experimento: 1
 Población -> Individuos: 15 Generaciones: 500 Redes evaluadas: 7015
 Selección -> Tipo de seleccion: 2 Tamaño de las competiciones: 2
 Mutación -> Prob. mutar función: 0.8 Incremento máximo en los parámetros: 0.7
 Evaluación -> Función de error: AIC2 Función de error en las redes: ISE Datos con ruido: 6



Bondad máxima AIC2: 3.98817
 (red aparece en la generación 449, máximo en 451)
 Redes malas 0%, máximo en la generación 0
 Semillas -> GÁ: 11, experimento: 11, aprendizaje: 12, reconocimiento: 13
 Tiempo empleado: 0:34:0.26
 Información a priori: funciones de transferencia

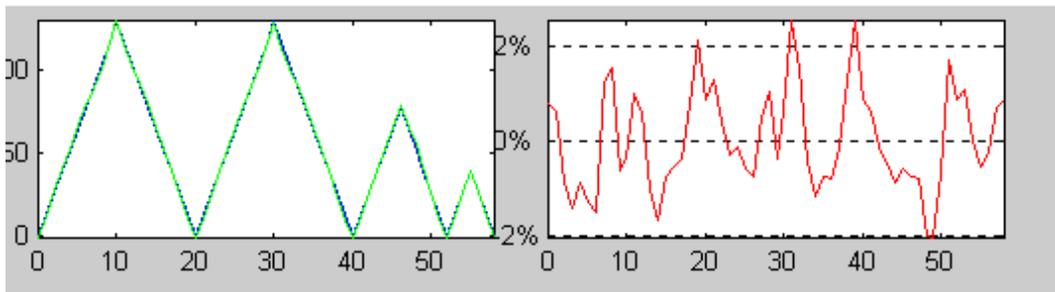
$$\frac{1}{10s + 1} \quad \frac{0.0225}{s^2 + 0.15s + 0.0225} \quad \frac{1}{\text{Input delay: } 0.1}$$



Prueba definitiva 1, criterio AIC, experimento 1, red modular nº 7

Red nº 7: bondad FPE: 3.263217, AIC2: 2.926880, ISE: 114.477170, IAE: 69.912634

Módulo 1: Entrada	
Módulo 2: slo0(0.656)	pesos fijos: no tiene
Módulo 3: slo0(1)	pesos fijos: no tiene
Módulo 4: sonamuerta(1,0.998)	pesos fijos: 1x8 double
Módulo 5: juego(1.94,0.418)	pesos fijos: 1x9 double
Módulo 6: saturacion(1.69,0.999)	pesos fijos: 1x7 double
Módulo 7: umbral2(-72.9,-6.38,-6.36)	pesos fijos: 50
Módulo 8: umbral1(-50)	pesos fijos: 50
Módulo 9: slo0(-0.572)	pesos fijos: no tiene
Módulo 10: juego(3,0.796)	pesos fijos: 1x9 double
Módulo 11: Salida	



Conexiones:

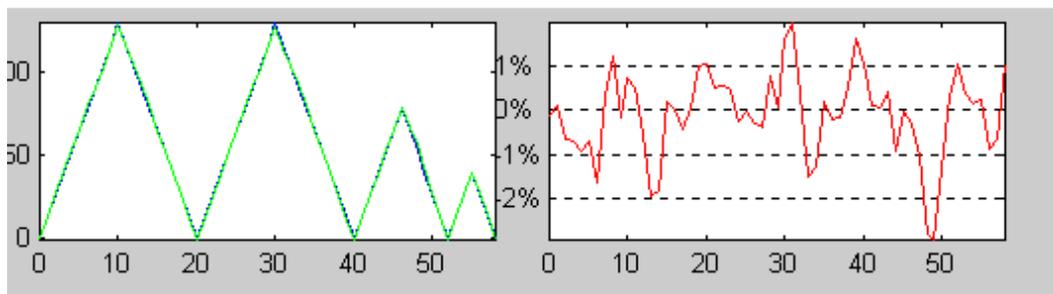
```

. . . . .
X . . . . .
X . . . . .
. X . . X . . . . X .
X . . . . .
. . . . X . . . . .
. . X . X . . . . .
. . . . . X . X . .
. . . . . X . . . .
. . . . X . X . . .
X . . X X X . X X X .
    
```

Prueba definitiva 1, criterio AIC, experimento 1, red modular nº 9

Red nº 9: bondad FPE: 3.281146, AIC2: 2.717980, ISE: 95.568581, IAE: 55.658712

Módulo 1: Entrada	
Módulo 2: s1o0(0.33)	pesos fijos: no tiene
Módulo 3: saturacion(1,1)	pesos fijos: lx7 double
Módulo 4: sonamuerta(1,0.971)	pesos fijos: lx8 double
Módulo 5: juego(1.99,0.51)	pesos fijos: lx9 double
Módulo 6: saturacion(1.69,0.995)	pesos fijos: lx7 double
Módulo 7: umbral2(-72.9,-5.96,-5.61)	pesos fijos: 50
Módulo 8: s1o0(1.29)	pesos fijos: no tiene
Módulo 9: relehist(9.17,-23.2)	pesos fijos: 50,20
Módulo 10: s1o0(0.999)	pesos fijos: no tiene
Módulo 11: s1o0(0.922)	pesos fijos: no tiene
Módulo 12: s1o0(-0.828)	pesos fijos: no tiene
Módulo 13: juego(2.84,0.629)	pesos fijos: lx9 double
Módulo 14: signo()	pesos fijos: 50
Módulo 15: Salida	



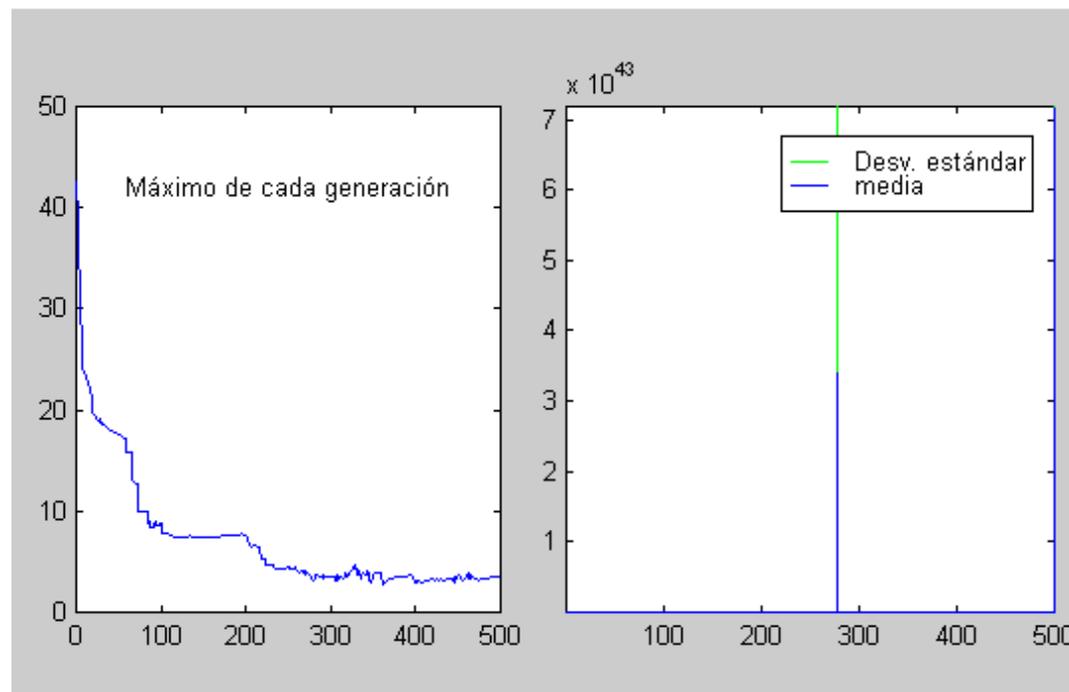
Conexiones:

```

. . . . .
X . . . . .
X . . . . .
. X . . X . . . . . X . .
X . . . . .
. . . . X . . . . X . .
X . X . . . . .
. . . . . X . . . . .
. . . . . X . . . . X . .
. . . . . X . . . . .
. . . . . X . . . . .
. . . . X . X . . . X . .
. . . . . . . . . X . .
X . . X X X . . . X . X X .
    
```

Prueba definitiva 2, criterio AIC, experimento 7, resumen de ejecución

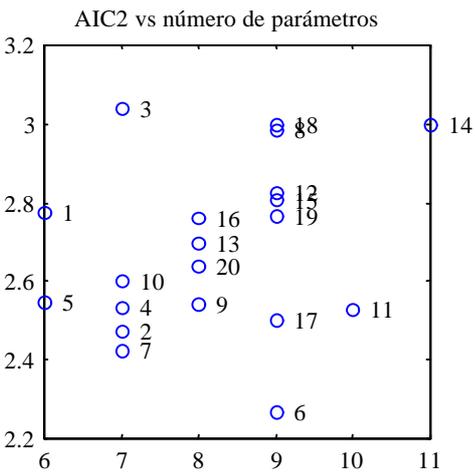
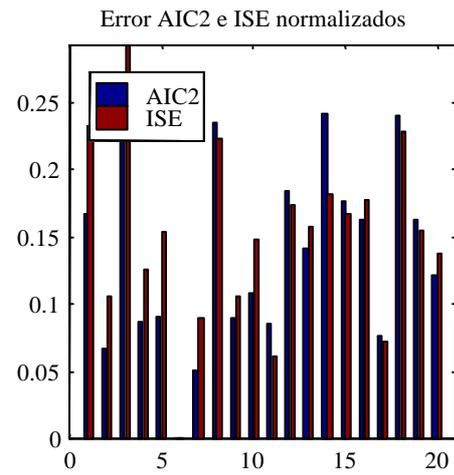
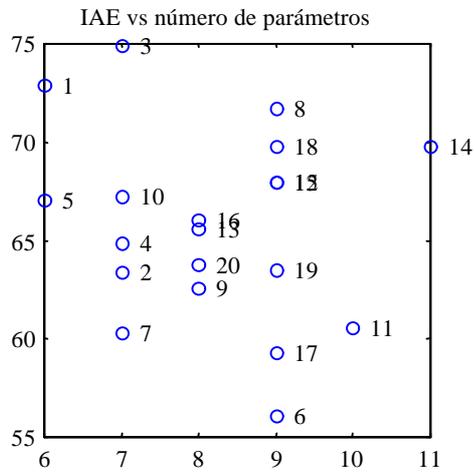
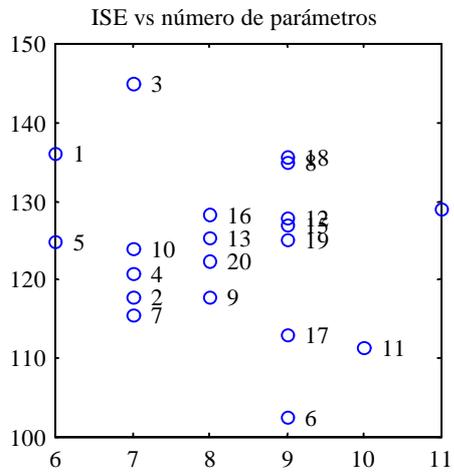
Fichero de datos: aic2piezotodosfr7 Experimento: 7
 Población -> Individuos: 15 Generaciones: 500 Redes evaluadas: 7015
 Selección -> Tipo de seleccion: 2 Tamaño de las competiciones: 2
 Mutación -> Prob. mutar función: 0.8 Incremento máximo en los parámetros: 0.7
 Evaluación -> Función de error: AIC2 Función de error en las redes: ISE Datos con ruido: 7



Bondad máxima AIC2: 2.81923
 (red aparece en la generación 345, máximo en 361)
 Redes malas 0%, máximo en la generación 0
 Semillas -> GA: 77, experimento: 77, aprendizaje: 78, reconocimiento: 79
 Tiempo empleado: 0:23:28
 Información a priori: funciones de transferencia

$$\frac{1}{10s + 1} \quad \frac{0.0225}{s^2 + 0.15s + 0.0225} \quad 1$$

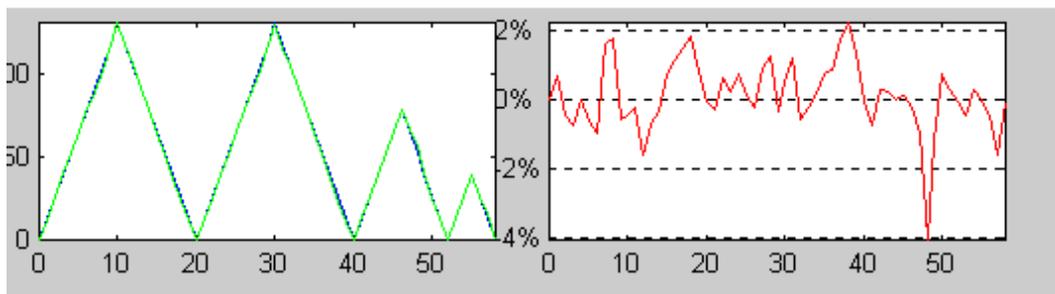
Input delay: 0.1



Prueba definitiva 2, criterio AIC, experimento 7, red modular nº 12

Red nº 12: bondad FPE: 2.364629, AIC2: 2.269148, ISE: 102.583161, IAE: 56.070143

Módulo 1: Entrada	
Módulo 2: s1o0(0.0647)	pesos fijos: no tiene
Módulo 3: sonamuerta(7.99,1.66)	pesos fijos: 1x8 double
Módulo 4: juego(5.39,0.478)	pesos fijos: 1x9 double
Módulo 5: s1o0(0.679)	pesos fijos: no tiene
Módulo 6: sonamuerta(1.71,0.678)	pesos fijos: 1x8 double
Módulo 7: s1o0(1.58)	pesos fijos: no tiene
Módulo 8: Salida	



Conexiones:

 X
 . . . X
 X
 . . . X
 X . . . X
 . X . . . X . . .
 . . X . . . X X .

Prueba previa 3 (juego), criterio FPE, experimento 8, resumen de ejecución

Fichero de datos: fpepiezojuego8

Experimento: 8

Población -> Individuos: 15

Generaciones: 500

Redes evaluadas: 7015

Selección -> Tipo de seleccion: 2

Tamaño de las competiciones: 2

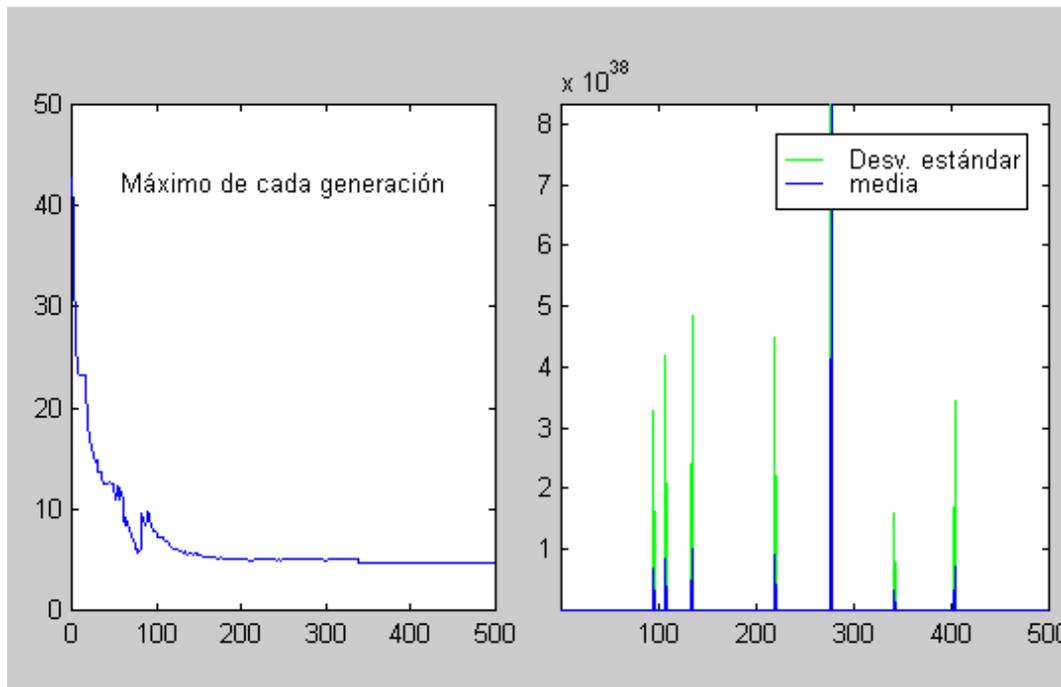
Mutación -> Prob. mutar función: 0.8

Incremento máximo en los parámetros: 0.7

Evaluación -> Función de error: FPE

Función de error en las redes: ISE

Datos con ruido: 3



Bondad máxima FPE: 4.59091

(red aparece en la generación 338, máximo en 424)

Redes malas 0%, máximo en la generación 0

Semillas -> GA: 88, experimento: 88, aprendizaje: 89, reconocimiento: 90

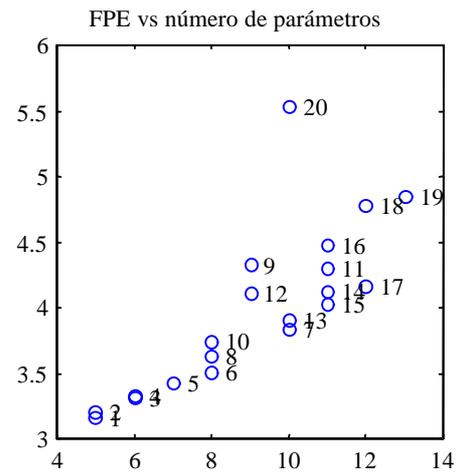
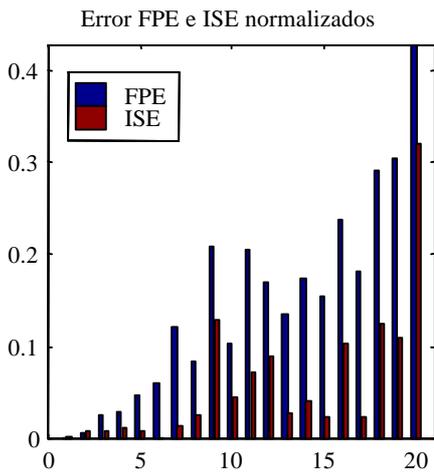
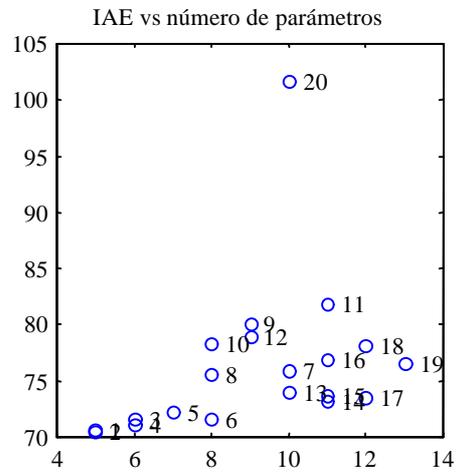
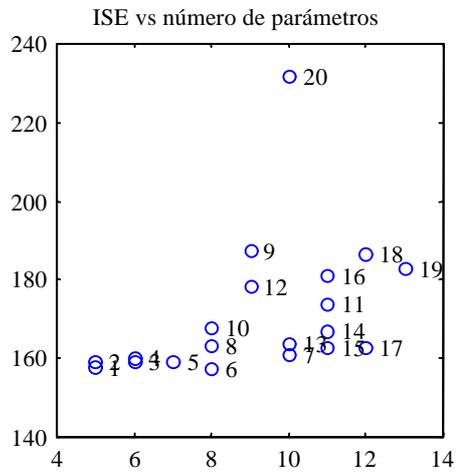
Tiempo empleado: 0:12:5.2

Información a priori: funciones de transferencia

$$\frac{1}{10s + 1} \quad \frac{0.0225}{s^2 + 0.15s + 0.0225}$$

1

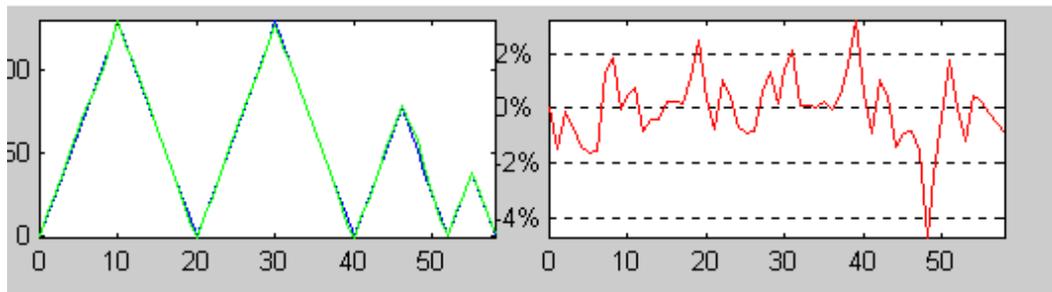
Input delay: 0.1



Prueba previa 3 (juego), criterio FPE, experimento 8, red modular n°16

Red n° 16: bondad FPE: 3.170442, AIC2: 3.128461, ISE: 157.828568, IAE: 70.597006

Módulo 1: Entrada	
Módulo 2: <code>sl0(0.394)</code>	pesos fijos: no tiene
Módulo 3: <code>signo()</code>	pesos fijos: 50
Módulo 4: <code>sl0(-4.19)</code>	pesos fijos: no tiene
Módulo 5: <code>juego(2.14,3.11)</code>	pesos fijos: 1x9 double
Módulo 6: <code>sl0(0.86)</code>	pesos fijos: no tiene
Módulo 7: Salida	



Conexiones:

 X
 X
 . . X
 . X . X . . .
 X
 X . X . X X .