

## Índice General

Capítulo 1 .....	1
1 Introducción.....	1
1.1 Motivo e Introducción .....	1
1.2 Objetivos.....	3
1.3 Contribuciones.....	3
1.4 Metodología.....	4
Capítulo 2 .....	9
2 Conceptos básicos de hidrología e hidráulica.....	9
2.1 Introducción.....	9
2.2 Tipos de flujo.....	10
2.3 Mecanismos de generación de escorrentía .....	14
2.3.1 Mecanismo Hortoniano .....	14
2.3.2 Mecanismo de Dunne-Black o flujo superficial de saturación.....	16
2.3.3 Mecanismo de flujo sub-superficial .....	18
2.4 Tipos de hidrogramas .....	18
2.5 Propagación de una onda de crecida en un cauce.....	21
Capítulo 3 .....	27
3 Introducción a las Redes Neuronales Artificiales .....	27
3.1 Introducción.....	27
3.2 Sus orígenes.....	27
3.3 Su historia.....	30
3.4 Sus ventajas .....	32
3.5 Diferentes estructuras .....	34
3.5.1 Perceptrón multicapa (MultiLayer Perceptron (MLP)).....	34
3.5.2 Mapas auto-organizativos de Kohonen ( <i>Self Organizing Map (SOM)</i> ) .....	37
Capítulo 4 .....	43
4 Estado del arte sobre la predicción de caudales en tiempo real con Redes Neuronales Artificiales.....	43
4.1 Introducción.....	43
4.2 Descripción de las Redes Neuronales Artificiales.....	45
4.3 Comparación con otros modelos .....	54
4.4 Interpretación de las Redes Neuronales Artificiales .....	58

---

4.5 Elección de las variables de entrada .....	65
4.6 Modelos híbridos .....	68
4.7 Incertidumbre .....	72
4.8 Líneas de investigación.....	73
Capítulo 5.....	77
5 Modelo modular.....	77
5.1 Introducción .....	77
5.2 Modelo modular propuesto .....	79
5.3 Acerca de la clasificación de grupos.....	82
Capítulo 6.....	89
6 Incertidumbre.....	89
6.1 Introducción .....	89
6.2 Metodología para el cálculo de la incertidumbre de las predicciones.....	91
6.3 Incertidumbre en un modelo ARMAX .....	95
6.4 Consideraciones a tener en cuenta .....	99
6.5 Conclusiones .....	101
Capítulo 7.....	105
7 Aplicación informática desarrollada (ANN).....	105
7.1 Introducción .....	105
7.2 Módulo principal.....	107
7.2.1 Elementos de la red .....	107
7.2.2 Función de activación de la capa oculta.....	108
7.2.3 Algoritmos de entrenamiento de la red.....	108
7.2.4 Función objetivo .....	110
7.3 Preparación y análisis de los datos.....	110
7.3.1 Análisis de datos .....	110
7.3.2 Preparación de los datos.....	115
7.4 Entrenamiento .....	118
7.5 Parámetros.....	120
7.6 Validación .....	122
7.7 Predicción.....	124
7.8 Búsqueda de la red óptima .....	124
7.9 Modelo modular (SOM-MLP).....	126
7.9.1 Elementos de la red.....	128

7.9.2	Parámetros .....	132
7.9.3	Validación.....	133
7.10	Modelo ARMAX.....	135
7.11	Intervalos de confianza.....	137
Capítulo 8 .....		143
8	Aplicaciones .....	143
8.1	Introducción.....	143
8.2	Predicción en tiempo real de caudales en el río Paraná: comparación entre los modelos MLP, SOM-MLP y ARMAX.....	146
8.2.1	Caso de estudio.....	147
8.2.2	Preparación y análisis de datos.....	150
8.2.3	Determinación de los modelos .....	157
8.2.4	Análisis de resultados .....	165
8.2.5	Conclusiones.....	176
8.3	Predicción de caudales en el río Neuquén.....	177
8.3.1	Caso de Estudio .....	178
8.3.2	Preparación y análisis de datos.....	192
8.3.3	Determinación de los modelos .....	203
8.3.4	Análisis de resultados .....	212
8.3.5	Conclusiones.....	227
Capítulo 9 .....		231
9	Conclusiones y discusiones .....	231
Referencias .....		235
Apéndices .....		253
A	Tablas y parámetros de las aplicaciones.....	253
A.1	Aplicación sobre el río Paraná.....	253
A.1.1	Parámetros de los modelos .....	253
A.1.2	Resultados de calibración .....	258
A.2	Aplicación sobre el río Neuquén .....	264
A.2.1	Parámetros de los modelos .....	264
A.2.2	Resultados de calibración .....	268
B	Intervalos de confianza .....	273
B.1	Introducción .....	273
B.2	Resultados para la serie de calibración del modelo del Paraná .....	273

B.3 Resultados para la serie de validación del modelo del Paraná.....	275
B.4 Comparación con diferentes funciones marginales.....	276
C Medidas de evaluación de los modelos y test de normalidad.....	283
C.1 Medidas de evaluación de los modelos .....	283
C.2 Test de normalidad .....	285
D Distribución Meta-Gaussiana.....	287