

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	3
1.1	IMPORTANCIA DE LA DEPURACIÓN DE LAS AGUAS	3
1.2	EL PROBLEMA DE LA EUTROFIZACIÓN	3
1.3	LEGISLACIÓN	5
1.4	EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	6
1.4.1	<i>Tratamientos biológicos de aguas residuales</i>	8
1.4.1.1	Clasificación de los tratamientos biológicos	9
1.4.1.2	Organismos que intervienen en los tratamientos biológicos	12
1.5	ELIMINACIÓN DE NUTRIENTES EN LAS AGUAS RESIDUALES	14
1.5.1	<i>Eliminación de Nitrógeno</i>	14
1.5.1.1	Eliminación biológica de nitrógeno	15
1.5.1.1.1	Nitrificación	16
1.5.1.1.2	Desnitrificación	17
1.5.1.2	Eliminación físico-química de nitrógeno	18
1.5.2	<i>Eliminación de fósforo</i>	19
1.5.2.1	Eliminación biológica de fósforo	20
1.5.2.1.1	Metabolismo anaerobio de las bacterias PAO	21
1.5.2.1.2	Metabolismo aerobio y anóxico de las bacterias PAO	21
1.5.2.1.3	Cationes metálicos asociados al polifosfato	22
1.5.2.1.4	Las bacterias acumuladoras de glucógeno (GAO)	23
1.5.2.2	Eliminación físico-química de fósforo	24
1.6	ESQUEMAS DE PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS	26
1.7	TECNOLOGÍAS ICA EN LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	36
1.8	ANÁLISIS, DIAGNÓSTICO DE FALLOS Y MONITORIZACIÓN DE PROCESOS	43
1.8.1	<i>Problemática de la situación actual</i>	43
1.8.2	<i>Clasificación de los modelos</i>	45
1.8.3	<i>Control estadístico de procesos clásico</i>	47
1.8.4	<i>Técnicas estadísticas multivariantes de proyección sobre estructuras latentes</i>	50
1.8.4.1	Análisis de componentes principales (PCA)	50
1.8.4.2	Regresión en mínimos cuadrados parciales (PLS)	52
1.8.4.3	Regresión en componentes principales (PCR)	53
1.8.4.4	Bondad de ajuste y de predicción	54
1.8.5	<i>Estructura de los datos</i>	57
1.8.5.1	Procesos en continuo	57
1.8.5.2	Procesos por lotes (discontinuos)	58
1.8.5.2.1	Desdoblamiento de la matriz tridireccional a matriz bidireccional	59

1.8.5.2.2	Análisis directo de la matriz tridireccional.....	61
1.8.6	<i>Monitorización de procesos por lotes (discontinuos)</i>	62
1.8.6.1	Selección del conjunto de observaciones de referencia.....	67
1.8.6.2	Modelación del proceso.....	68
1.8.6.2.1	Monitorización del error cuadrático de predicción.....	70
1.8.6.2.2	Monitorización de las variables latentes.....	72
1.8.6.2.3	Gráficos de contribución.....	74
1.8.6.3	Explotación en tiempo real del modelo construido.....	75
1.8.6.3.1	Enfoque de Nomikos y MacGregor (1995).....	75
1.8.6.3.2	Enfoque de Rännar et al. (1998).....	78
1.8.6.3.3	Enfoque de Wold et al. (1998).....	79
1.8.6.4	El análisis multivariante en la monitorización de los tratamientos de aguas residuales.....	81
1.8.7	<i>Análisis de datos históricos</i>	88
1.8.8	<i>Modelos predictivos</i>	88
1.8.8.1	Las Redes Neuronales Artificiales (ANN).....	89
1.8.8.2	Desarrollo de las ANN.....	90
1.8.8.3	Conceptos básicos.....	91
1.8.8.3.1	Neuronas.....	92
1.8.8.3.2	Estado de activación.....	93
1.8.8.3.3	Funciones de activación.....	93
1.8.8.3.4	Conexiones sinápticas.....	94
1.8.8.3.5	Aprendizaje.....	94
1.8.8.4	Modelo matemático de una neurona artificial.....	96
1.8.8.5	Características de las ANNs.....	97
1.8.8.6	ANNs y modelos estadísticos.....	99
1.8.8.7	Modelos predictivos en los tratamientos de aguas residuales.....	100
2	OBJETIVOS.....	109
3	MATERIALES Y MÉTODOS.....	113
3.1	DESCRIPCIÓN DEL MONTAJE EXPERIMENTAL.....	113
3.2	CARACTERIZACIÓN DEL INFLUENTE.....	116
3.3	INFORMACIÓN RECOGIDA.....	117
3.4	MÉTODOS ANALÍTICOS.....	120
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	123
4.1	DIAGNÓSTICO DEL PROCESO.....	123
4.1.1	<i>Análisis del rendimiento en la eliminación de fósforo</i>	123

4.1.2	<i>Diagnóstico de fallos</i>	136
4.1.2.1	Enfoque de Nomikos y MacGregor.....	138
4.1.2.2	Enfoque de Wold et al.	141
4.1.2.3	Comparación de los enfoques.....	145
4.1.2.4	Modificaciones propuestas.....	159
4.2	MONITORIZACIÓN EN TIEMPO REAL DEL PROCESO.....	169
4.2.1	<i>Modelación del proceso</i>	170
4.2.2	<i>Resultados de la monitorización con distintos enfoques</i>	172
4.3	ESQUEMA DE MONITORIZACIÓN PROPUESTO.....	183
4.4	DESARROLLO Y COMPARACIÓN DE MODELOS PREDICTIVOS.....	187
4.4.1	<i>Modelo para la predicción de todas las variables respuesta</i>	190
4.4.2	<i>Modelos para la predicción de los incrementos de fósforo</i>	197
4.4.2.1	Modelos de proyección sobre estructuras latentes.....	197
4.4.2.2	Modelos de redes neuronales.....	202
4.4.2.2.1	Preprocesamiento.....	205
4.4.2.2.2	Entrenamiento.....	206
4.4.2.2.3	Validación.....	211
4.4.2.3	Comparación de los modelos desarrollados.....	212
5	CONCLUSIONES	227
6	DESARROLLOS FUTUROS	235
7	BIBLIOGRAFÍA	239
8	ANEJOS	255
8.1	ANEJO 1: FOTOGRAFÍAS DEL MONTAJE EXPERIMENTAL.....	255
8.2	ANEJO 2: GRÁFICOS DE CONTRIBUCIÓN DEL DIAGNÓSTICO.....	259
8.3	ANEJO 3: NOMENCLATURA.....	267