

# INDICE DE CONTENIDOS

<b>Agradecimientos</b> .....	<b>7</b>
<b>Lista de figuras</b> .....	<b>13</b>
<b>Lista de tablas</b> .....	<b>19</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>21</b>
<b>Summary</b> .....	<b>25</b>
<b>Resum</b> .....	<b>29</b>
<b>Capítulo 1. Introducción</b> .....	<b>33</b>
1.1. Introducción General.....	35
1.2. Objetivos principales de la Tesis .....	38
1.2.1. Motivación .....	38
1.2.2. Objetivos principales .....	41
<b>Capítulo 2. Estado de la Cuestión</b> .....	<b>43</b>
2.1. Modelación ambiental .....	45
2.1.1. Tipos de modelos .....	46
2.1.2. Complejidad de los modelos.....	48
2.1.3. Identificación de modelos: equifinalidad y sensibilidad .....	50
2.1.4. Incertidumbre de los parámetros inferidos .....	52
2.1.5. Revisión de métodos de inferencia de los parámetros.....	57
2.2. Inferencia Bayesiana.....	62
2.2.1. Estimación Bayesiana de los parámetros y su incertidumbre .....	65
2.2.2. Métodos de muestreo de la posterior.....	69
2.2.3. Incertidumbre estructural mediante la aproximación Bayesiana .....	80
2.3. Formulación del problema de inferencia en modelación hidrológica.....	82
2.3.1. Inferencia en el caso ideal. Método de los mínimos cuadrados .....	83

---

2.3.2. Inferencia en los casos no ideales .....	87
2.3.3. Relajación de la hipótesis de homocedasticidad de los errores .....	90
2.3.4. Relajación de la hipótesis de independencia de los errores.....	95
2.3.5. Función de verosimilitud generalizada (GL) .....	97
2.3.6. Corrección de Evin et al. a la función GL .....	101
2.4. Incertidumbre de la predicción .....	104
2.4.1. Evaluación de la incertidumbre total de la predicción.....	104
2.4.2. Evaluación de la capacidad predictiva .....	106
<b>Capítulo 3. El modelo de error .....</b>	<b>111</b>
3.1. Motivación.....	113
3.1.1. Primeros experimentos.....	114
3.1.2. Inspiración .....	116
3.2. Las Leyes Totales.....	122
3.2.1. Derivación .....	122
3.2.2. Casuística en la aplicación de las Leyes Totales .....	124
3.3. Un nuevo modelo de error.....	126
3.3.1. Definición del problema de inferencia .....	126
3.3.2. Derivación de la función de verosimilitud .....	133
3.4. Inclusión de las Leyes Totales en el modelo de error.....	136
3.4.1. Inclusión de las TLs al relajar la hipótesis de media nula.....	137
3.4.2. Inclusión de las TLs al relajar la hipótesis de homocedasticidad. Modelo de varianza del error.....	138
3.4.3. Inclusión de las TLs al relajar simultáneamente las hipótesis de media nula y homocedasticidad .....	140
3.4.4. Sobre el método WLS.....	142
3.5. Estimación de la incertidumbre predictiva a partir de los modelos hidrológico y de error conjuntamente inferidos.....	144

<b>Capítulo 4. Descripción de Experimentos .....</b>	<b>147</b>
4.1. Motivación.....	149
4.2. Modelos de error.....	152
4.3. Modelación hidrológica agregada.....	155
4.3.1. Descripción de los modelos considerados.....	155
4.3.2. Cuenca de estudio.....	157
4.4. Modelación hidrológica distribuida .....	159
4.4.1. Descripción del modelo considerado .....	159
4.4.2. Descripción de la cuenca.....	160
<b>Capítulo 5. Consecuencias de la (no) aplicación de las TLs en la inferencia conjunta .....</b>	<b>163</b>
5.1. SLS.....	165
5.1.1. Validez del modelo de error: cumplimiento de sus hipótesis.....	166
5.1.2. Identificabilidad e incertidumbre de los parámetros .....	168
5.1.3. Predicción y estimación de su incertidumbre .....	171
5.1.4. SLS. Conclusiones .....	172
5.2. WLS y WLS-NTL.....	174
5.2.1. La paradoja en los resultados de WLS-NTL .....	175
5.2.2. Validez del modelo de error WLS: cumplimiento de sus hipótesis ..	178
5.2.3. Identificabilidad e incertidumbre de los parámetros .....	179
5.2.4. Predicción y estimación de su incertidumbre .....	180
5.2.5. WLS y WLS-NTL. Conclusiones .....	180
5.3. GL++ y GL++NTL .....	181
5.3.1. Validez del modelo de error: cumplimiento de sus hipótesis.....	181
5.3.2. Efectos de la (no) aplicación de las Leyes Totales .....	185
5.3.3. GL++ y GL++NTL. Conclusiones.....	194

---

**Capítulo 6. Aplicación del nuevo modelo de error completo: GL++Bias ..... 197**

- 6.1. Aplicación en modelación agregada..... 199
  - 6.1.1. Validez del modelo de error: cumplimiento de sus hipótesis ..... 200
  - 6.1.2. Identificabilidad e incertidumbre de los parámetros con GR4J..... 202
  - 6.1.3. Predicción y estimación de su incertidumbre ..... 203
  - 6.1.4. Sobre la estimación y el sesgo de los parámetros ..... 207
  - 6.1.5. Comparación de los experimentos con modelos agregados ..... 211
- 6.2. Aplicación en modelación distribuida ..... 215
  - 6.2.1. Validez del modelo de error: cumplimiento de sus hipótesis ..... 216
  - 6.2.2. Identificabilidad e incertidumbre de los parámetros ..... 218
  - 6.2.3. Predicción y estimación de su incertidumbre ..... 220
  - 6.2.4. Influencia del modelo de error empleado en la inferencia sobre los procesos simulados por el modelo ..... 225

**Capítulo 7. Conclusiones ..... 227**

- 7.1. Epílogo..... 229
- 7.2. Conclusiones ..... 232
- 7.3. Líneas futuras ..... 236

**8. Referencias..... 239**