

# Índice General

<b>Resumen</b>	<b>v</b>
<b>Abstract</b>	<b>vii</b>
<b>Resum</b>	<b>ix</b>
<b>1 Introducción</b>	<b>27</b>
1.1 Redes inalámbricas de sensores.....	27
1.2 Línea de investigación.....	31
1.3 Objetivos y aportaciones de la tesis.....	33
1.4 Desarrollo de la tesis.....	35
<b>2 Estado del arte</b>	<b>37</b>
2.1 Clasificación de las estrategias de enrutamiento en WSN.....	37
2.2 Redes planas.....	40
2.2.1 <i>Sensor Protocols for Information via Negotiation (SPIN)</i> .....	40
2.2.2 Difusión Directa.....	42
2.2.3 <i>Rumor routing</i> .....	44
2.2.4 <i>Minimum Cost Forwarding Algorithm (MCFA)</i> .....	45
2.2.5 <i>Gradient-Based Routing (GBR)</i> .....	46
2.2.6 <i>Information-driven sensor querying (IDSQ)</i> y <i>CADR</i> .....	46
2.2.7 <i>COUGAR</i> .....	47
2.2.8 <i>Active Query forwarding in sensor networks (ACQUIRE)</i> .....	48
2.2.9 <i>Energy Aware Routing</i> .....	49
2.2.10 <i>Random Walks Routing Protocols</i> .....	50
2.2.11 Conclusiones sobre redes planas.....	52

2.3 Redes jerárquicas.....	53
2.3.1 <i>Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy</i> (LEACH).....	53
2.3.2 <i>Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy- Centralized</i> (LEACH-C).....	57
2.3.3 <i>Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems</i> (PEGASIS).....	60
2.3.4 <i>Threshold-sensitive Energy Efficient Protocols</i> (TEEN y APTEEN).....	63
2.3.5 <i>Small Minimum Energy Communication Network</i> (MECN).....	65
2.3.6 <i>Self Organizing Protocol</i> (SOP).....	66
2.3.7 <i>Sensor Aggregates Routing</i> .....	70
2.3.8 <i>Virtual Grid Architecture Routing</i> (VGA).....	70
2.3.9 <i>Hierarchical Power-aware Routing</i> (HPAR).....	71
2.3.10 <i>Two-Tier Data Dissemination</i> (TTDD).....	72
2.3.11 <i>Energy-efficient Distributed Dynamic Diffusion routing algorithm</i> (e3D).....	74
2.3.12 <i>Energy efficient clustering routing</i> (EECR).....	77
2.3.13 IMRAFRA.....	79
2.3.14 <i>Uniformly Distributed Adaptive Clustering Hierarchy routing protocol</i> .....	82
2.3.15 <i>Tree-Clustered Data Gathering Protocol</i> (TCDGP).....	87
2.3.16 <i>Energy-Efficient Distributed Unequal Clustering</i> (EEDUC).....	90
2.3.17 HTECRP.....	94
2.3.18 <i>Hybrid Energy-efficient Tree-based Optimized Routing Protocol</i> (HECTOR).....	97
2.3.19 <i>Energy-Balancing Unequal Clustering Protocol</i> (EB-UCP).....	102
2.3.20 <i>Grid-clustering Routing Protocol</i> (GROUP).....	105
2.3.21 <i>Base-station Controlled Dynamic Clustering Protocol</i> (BCDCP).....	108
2.3.22 <i>Dynamic Minimal Spanning Tree Routing Protocol</i> (DMSTRP).....	110
2.3.23 <i>Power Efficiency Routing Protocol</i> (PER).....	113
2.3.24 <i>Distributive Energy Efficient Adaptive Clustering</i> (DEEAC).....	116
2.4 Redes basadas en localización.....	119
2.4.1 <i>Geographic Adaptive Fidelity</i> (GAF).....	119

2.4.2 <i>Geographic and Energy Aware Routing (GEAR)</i> .....	123
2.5 Conclusiones.....	126
<b>3 Estrategias de optimización del consumo en WSN</b>	<b>129</b>
3.1 Enfoque para optimización del consumo de energía.....	129
3.2 Selección de las estrategias más adecuadas.....	131
3.3 Principios para los mecanismos propuestos y comparación.....	132
<b>4 Protocolo de encaminamiento EDETA</b>	<b>137</b>
4.1 Introducción.....	137
4.2 Arquitectura propuesta.....	138
4.2.1 Tipos de nodo.....	139
4.2.1.1 Nodo sumidero.....	139
4.2.1.2 Nodo sensor.....	140
4.2.2 Mensajes EDETA.....	141
4.2.2.1 Notificación rol NL (LEADER).....	141
4.2.2.2 Petición de unión al clúster (JOIN-REQ).....	142
4.2.2.3 Respuesta a la petición de unión al clúster (JOIN-REPLY).....	143
4.2.2.4 Necesidad de Nodo Líder (NEED_LEADER).....	143
4.2.2.5 Petición asociación con nodo padre árbol (ASSOC-REQ).....	144
4.2.2.6 Respuesta petición de asoc. con nodo padre (ASSOC-REPLY).....	144
4.2.2.7 Inf. planificación descendiente a nodo padre en árbol (DINFO).....	144
4.2.2.8 Asig. de planif. y dirección lógica desde nodo padre árbol (SICI).....	145
4.2.2.9 Notificación nodo sustituto (SN).....	145
4.2.2.10 Fallo nodo sumidero (SINK-FAILURE).....	146
4.2.2.11 POLL {intra-clúster   inter-clúster}.....	146
4.2.2.12 Transmisión de datos {intra-clúster   inter-clúster} (DATA).....	147
4.2.2.13 Reconocimiento {intra-clúster   inter-clúster} (ACK).....	147
4.3 Operación del protocolo.....	147

4.3.1 Fase de inicialización.....	149
4.3.1.1 Elección de rol.....	149
4.3.1.2 Notificación y formación del árbol.....	151
4.3.1.3 Establecimiento y planificación de los clústeres.....	153
4.3.1.4 Planificación del árbol.....	154
4.3.2 Fase de operación.....	155
4.3.2.1 Protocolo de comunicación <i>intra-cluster</i> .....	155
4.3.2.2 Protocolo de comunicación <i>inter-cluster dynamic tree</i> .....	158
4.3.2.3 Duración de los clústeres.....	161
4.4 Robustez del protocolo.....	161
4.4.1 Fallo de un nodo líder.....	162
4.4.2 Fallo de un nodo hoja.....	163
4.4.3 Fallo de nodo sumidero.....	163
4.4.4 Nodos huérfanos.....	164
4.5 Conclusiones.....	164
<b>5 Experimentación</b>	<b>167</b>
5.1 Metodología de evaluación.....	167
5.1.1 Proceso de simulación.....	167
5.1.2 El simulador NS-2.....	168
5.1.3 Modelo de energía.....	186
5.1.4 Metodología.....	198
5.2 Evaluación de prestaciones.....	199
5.2.1 Parámetros y escenarios.....	199
5.2.2 Impacto del tráfico de red.....	200
5.2.3 Impacto del número de nodos.....	200
5.2.4 Impacto del área de la red.....	201
5.2.5 Comparativa de EDETA, LEACH y ESTRELLA.....	202

5.3 Campos aplicación de las técnicas propuestas.....	205
5.3.1 Plataforma HW para la implementación de EDETA y mediciones reales.....	206
5.3.1.1 Cálculos estimación vida batería.....	207
5.3.2 Aplicación de la plataforma hardware.....	209
5.4 Estudio del impacto del número de sumideros y su ubicación.....	210
5.4.1 Sumideros en escenario grid – esférico.....	211
5.4.2 Sumideros en escenario en forma de camino.....	215
5.4.3 Conclusiones.....	217
5.5 Conclusiones finales.....	219
<b>6 Conclusiones, publicaciones y trabajo futuro</b>	<b>221</b>
6.1 Conclusiones.....	221
6.2 Publicaciones relacionadas con la tesis.....	224
6.3 Trabajo futuro.....	226
<b>Bibliografía</b>	<b>229</b>