

## ÍNDICE

Perfil académico de los autores .....	9
Agradecimientos .....	11
Resumen ejecutivo .....	13
Notación .....	15
1. Introducción. Uso de energía limpia para el acondicionamiento de aire .....	17
1.1. Introducción .....	17
1.2. Aspectos clave para desarrollos presentes y futuros del sector de la climatización .....	19
1.3. Aprovechamiento de recursos energéticos gratuitos en climatización .....	21
2. Enfriamiento evaporativo: tecnologías simples para un fenómeno natural .....	23
2.1. Fundamentos del enfriamiento evaporativo .....	23
2.1.1. Variables del aire húmedo .....	24
2.1.2. Balances energéticos a los procesos de enfriamiento evaporativo .....	27
2.2. Estado de la técnica .....	27
2.2.1. Sistemas de enfriamiento evaporativo directos .....	28
2.2.2. Sistemas de enfriamiento evaporativo indirectos .....	30
2.2.3. Sistemas mixtos .....	31
2.2.4. Desecación para aumentar el potencial del enfriamiento evaporativo .....	32
2.2.5. Integración en arquitectura bioclimática .....	32
2.3. Eficiencia energética de los sistemas evaporativos .....	32
2.3.1. Eficiencia de los enfriadores evaporativos directos .....	33
2.3.2. Eficiencia de los enfriadores evaporativos indirectos .....	35
2.4. Regulación y control de los sistemas evaporativos .....	37
2.5. Consumo de agua en los sistemas evaporativos .....	39
2.6. Impacto de los sistemas evaporativos sobre la salubridad .....	40
2.6.1. Impacto de la humedad sobre la salubridad .....	41
2.6.2. <i>Legionella</i> en los sistemas evaporativos .....	42
3. Mejora de los sistemas convencionales mediante hibridación con enfriamiento evaporativo .....	47
3.1. Hibridación de sistemas de refrigeración de compresión mecánica con enfriamiento evaporativo .....	47
3.2. Incorporación de sistemas de enfriamiento evaporativo en la condensación .....	49
3.3. Pretratamiento del aire de ventilación .....	51
3.4. Incorporación de sistemas de enfriamiento evaporativo en recuperadores de calor .....	52
4. Adecuación de espacios no acondicionados mecánicamente .....	55
4.1. Espacios exteriores .....	55
4.2. Espacios interiores con ocupación humana .....	58
4.2.1. Aplicación residencial con y sin ventilación cruzada .....	58
4.2.2. Enfriamiento localizado de puestos de trabajo en oficinas .....	61
4.2.3. Acondicionamiento de otros espacios habitables .....	62

4.3. Espacios interiores no destinados a ocupación humana .....	65
4.3.1. Invernaderos .....	66
4.3.2. Ganadería intensiva .....	66
4.3.3. Procesos y espacios industriales.....	67
4.3.4. Conservación de productos.....	67
5. Potencial del enfriamiento evaporativo en la recuperación de energía.....	69
5.1. Descripción de los enfriadores evaporativos indirectos .....	69
5.2. Enfriador evaporativo indirecto en configuración recuperativa.....	71
5.3. Análisis termodinámico de un sistema evaporativo indirecto.....	73
6. Desarrollos actuales y prototipos.....	77
6.1. Equipos de medida y calibración.....	77
6.2. Sistemas indirectos .....	80
6.2.1. Enfriador evaporativo indirecto de metal .....	81
6.2.2. Enfriadores evaporativos indirectos de materiales plásticos .....	86
6.3. Sistemas directos y semi-indirectos .....	90
6.3.1. Enfriadores evaporativos cerámicos .....	90
6.3.2. Enfriadores evaporativos textiles .....	98
6.3.3. Uso de otros materiales alternativos en sistemas directos .....	104
7. Conclusiones: aplicabilidad actual y perspectivas futuras.....	107
7.1. Funcionamiento y eficiencia de los sistemas.....	107
7.2. Aplicabilidad actual de los sistemas de enfriamiento evaporativo.....	108
7.3. Perspectivas futuras.....	111
8. Bibliografía .....	113
9. Lista de figuras .....	121