

INTERNET DE LAS COSAS

Un futuro hiperconectado: 5G, Inteligencia Artificial,
Big Data, *Cloud*, *Blockchain*, Ciberseguridad

Luis Joyanes Agullar

Acceda a www.marcombo.info
para descargar gratis
el contenido adicional
complemento imprescindible de este libro

Código:

INTERNET DE LAS COSAS

**Un futuro hiperconectado: 5G, Inteligencia Artificial,
Big Data, *Cloud*, *Blockchain*, Ciberseguridad**

Luis Joyanes Agullar



Internet de las cosas

Un futuro hiperconectado: 5G, Inteligencia Artificial, Big Data, Cloud, Blockchain, Ciberseguridad

Luis Joyanes Aguilar

Derechos reservados © Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V., México

Primera edición: 2021

ISBN: 978-607-538-706-2

Primera edición: MARCOMBO, S.L. 2021

© 2021 MARCOMBO, S.L.

www.marcombo.com

«Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra solo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley. Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, www.cedro.org) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra».

ISBN: 978-84-267-3321-4

D.L.: B 11818-2021

Impreso en Servicepoint

Printed in Spain

A mis queridas nietas ("mis niñas") Olivia e Inés, con el inmenso cariño que les profeso y con su recuerdo, que siempre me acompaña.

A mi sobrina María y su hija Anita, a las que también profeso un gran cariño, y en la espera de celebrar las próximas Fiestas de Moros y Cristianos, en Carchelejo, nuestro pueblo de Jaén (Andalucía, España).

Contenido

Primera parte. El ecosistema de Internet de las cosas (IoT)

Capítulo 1

Internet de las cosas: una visión general del ecosistema de Internet de las cosas

Introducción	1
1.1. ¿Qué es Internet de las cosas (<i>Internet of Things</i> , IoT)?.....	2
1.2. Definición de Internet de las cosas	4
1.3. Objetos inteligentes en entornos inteligentes.....	6
1.4. Historia de la Internet de las cosas	7
1.5. Aplicaciones y casos de estudio de la Internet de las cosas	8
1.5.1. Casos de estudio de IoT	9
1.6. Tecnologías y tendencias habilitadoras de la Internet de las cosas	13
1.6.1. Tecnologías de carga de baterías	16
1.6.2. Otras tecnologías disruptivas de impacto en la Internet de las cosas.....	16
1.6.3. Caso de estudio: Tecnologías habilitadoras digitales (THD)	16
1.7. Internet de todo y las cuatro fuentes de generación de datos.....	17
1.8. La capa física de la red (sensores, actuadores, controladores)	18
1.9. Ciudades inteligentes (<i>smart cities</i>)....	20
1.9.1. Ciudades inteligentes y sostenibles.....	22
1.10. La seguridad en Internet de las cosas.....	22
1.10.1. Estado del arte	23
1.11. La privacidad en Internet de las cosas.....	24
1.11.1. Normas legales, derecho y aspectos regulatorios	25
RESUMEN	25
BIBLIOGRAFÍA.....	26
RECURSOS	27

Capítulo 2

Tecnologías habilitadoras de Internet de las cosas: Industria 4.0

Introducción.....	29
2.1. Industria 4.0 y la cuarta revolución industrial	30
2.1.1. Los pilares tecnológicos de la industria 4.0 en 2015 (BSC): una visión retrospectiva	31
2.2. El panorama del ecosistema de Internet de las cosas: tecnologías habilitadoras.....	34
2.3. Fabricación aditiva/impresión 3D	35
2.4. Tecnologías <i>wearables</i> (ponibles).....	38
2.4.1. Componentes de un dispositivo <i>wearable</i>	39
2.4.2. Tipos de dispositivos <i>wearables</i>	39
2.5. Realidad virtual.....	40
2.5.1. Gafas de realidad virtual	41
2.6. Realidad aumentada	41
2.6.1. Aplicaciones de realidad aumentada	42
2.6.2. Diferencias entre realidad aumentada y realidad virtual	43
2.7. Experiencias inmersivas: realidad mixta y realidad fusionada.....	44
2.8. Los gemelos digitales (<i>digital twins</i>) ...	44
2.9. Inteligencia artificial aplicada	45
2.9.1. Asistentes virtuales y de voz (<i>bots/chatbots</i>).....	46
2.10. Drones	47
2.10.1. Aplicaciones de los drones	48
2.11. <i>Blockchain</i>	48
2.12. Fábrica inteligente 4.0: la transformación digital de la Industria 4.0	50
RESUMEN.....	52
BIBLIOGRAFÍA	52
NOTAS	53

Capítulo 3

Hiperconectividad: infraestructuras de comunicaciones

Introducción.....	55
3.1. Redes de ordenadores.....	56
3.1.1. Tipos de redes de ordenadores	57

3.2. Redes inalámbricas	59
3.2.1. Red inalámbrica de área personal WPAN.....	60
3.2.2. Red inalámbrica de área local (WLAN, <i>Wireless LAN</i> , <i>Wireless Local-Area Network</i>)	60
3.2.3. Red inalámbrica de área metropolitana (WMAN)	60
3.2.4. Red inalámbrica de área amplia (<i>Wireless Wide-Area Network</i> , WWAN)	61
3.3. Conectividad de Internet de las cosas	61
3.4. Tecnologías de comunicación de corto alcance	62
3.5. Redes de proximidad	66
3.5.1. Identificación por radiofrecuencia (RFID).....	66
3.5.2. NFC.....	66
3.6. Internet móvil de las cosas	67
3.7. Tecnologías de redes LPWAN (Low Power WAN)	70
3.7.1. Características de redes LPWAN	70
3.7.2. Tecnologías de comunicación radio de largo alcance	71
3.7.3. Aplicaciones LPWAN	73
3.7.4. Seguridad LPWAN	74
3.7.5. El futuro de las redes LPWAN	74
3.8. Regulaciones de redes con licencia y sin licencia	75
3.8.1. Espectro con licencia.....	76
3.8.2. Espectro sin licencia.....	76
3.8.3. Regulaciones de bandas de frecuencia con licencia y sin licencia.....	77
3.9. Redes 5G: Integración en Internet de las cosas	78
3.9.1. ¿Qué son las tecnologías 5G?	79
3.9.2. Integración de 5G con Internet de las cosas.....	80
3.9.3. Futuras aplicaciones de 5G	81
3.9.4. Experiencias reales 5G.....	81
3.10. Redes Wifi 6.0	83
3.11. Criterios de selección de la red para Internet de las cosas	84
3.12. El ecosistema hiperconectado de IoT: panorámica de las redes de comunicaciones para IoT	85
RESUMEN	86
BIBLIOGRAFÍA	87
ORGANIZACIONES INTERNACIONALES	88
RECURSOS	88
NOTAS	89

Capítulo 4

Arquitectura y plataformas de Internet de las cosas

Introducción	91
4.1. Arquitectura de referencia de Internet	92
4.1.1. Modelo OSI.....	92
4.1.2. Modelo TCP/IP.....	94
4.2. Arquitectura de referencia de Internet de las cosas	95
4.2.1. Arquitectura de tres capas	96
4.2.2. Arquitectura de cinco capas.....	97
4.2.3. Arquitectura de referencia de IoT <i>middleware</i> y redes.....	100
4.2.4. Arquitectura de IoT de Cisco	101
4.3. Capa física	102
4.4. Sensores	102
4.5. Actuadores	106
4.6. Plataformas de Internet	107
4.7. Plataformas de Internet de las cosas	108
4.7.1. Componentes de una plataforma de Internet de las cosas	111
4.7.2. Tipos de plataformas de Internet de las cosas	112
4.8. Proveedores de plataformas de Internet de las cosas	112
RESUMEN	114
BIBLIOGRAFÍA	115
NOTAS	116

Capítulo 5

Internet industrial de las cosas

Introducción	117
5.1. Internet industrial	118
5.2. Integración de la Industria 4.0 y la Internet industrial	120
5.3. Innovaciones tecnológicas disruptivas de la Internet industrial	121
5.3.1. Nuevas tecnologías habilitadoras de la Internet industrial.....	122
5.4. Internet industrial de las cosas	123
5.4.1. Iniciativas de la IIoT.....	125
5.4.2. Beneficios de la IIoT.....	126
5.4.3. Diferencias entre IoT e IIoT.....	127
5.5. Casos de uso de Internet industrial de las cosas	128
5.6. Sistemas SCADA en la Internet industrial de las cosas	129
5.6.1. Conceptos fundamentales de un sistema SCADA.....	129

5.6.2. Arquitectura de un sistema SCADA	130
5.6.3. Los sistemas SCADA versus Internet industrial de las cosas	132
5.6.4. Soluciones de sistemas SCADA en la Industria 4.0 y la Internet industrial de las cosas.....	133
5.7. Arquitectura de referencia de la Internet industrial de las cosas	134
5.8. Plataformas de la Internet industrial de las cosas	134
5.9. Proveedores de soluciones de IIoT	135
5.9.1. Cuadrante Mágico de Gartner de <i>Industrial IIoT Platform</i> , mayo 2019	135
5.9.2. <i>The Forrester Wave Industrial IoT Software Platforms Q4 2019</i>	136
5.9.3. Panorama de plataformas de IIoT de IoT Analytics	137
RESUMEN	137
BIBLIOGRAFÍA	138
RECURSOS WEB	139
NOTAS.....	140

Segunda parte. Infraestructuras de Internet de las cosas

Capítulo 6 Infraestructuras de la Internet de las cosas: *cloud computing*, *edge* y *fog computing*, *data lake*

Introducción	141
6.1. Computación en la nube (<i>cloud computing</i>): origen, evolución y definición	142
6.1.1. Definición de la nube	144
6.2. Características de la <i>cloud computing</i>	145
6.3. Modelos de la nube (<i>cloud</i>)	147
6.3.1. Modelos de servicio.....	147
6.3.2. Modelos de despliegue de la nube.....	149
6.4. Selección del modelo de nube	150
6.4.1. El modelo de la nube futura: <i>multicloud</i> (multinube)	150
6.5. Proveedores de la nube.....	151
6.5.1. Implantación de la nube en organizaciones y empresas.....	153
6.5.2. Aspectos económicos.....	154
6.6. Seguridad en la nube: retos y amenazas	154

6.7. Contratación de servicios de <i>cloud computing</i>.....	156
6.8. Computación en el borde y en la niebla (<i>edge computing</i> y <i>fog computing</i>)	157
6.8.1. <i>Edge computing</i> (computación en el borde)	158
6.8.2. <i>Fog computing</i> (computación en la niebla)	159
6.8.3. <i>Fog computing</i> versus <i>edge computing</i>	160
6.8.4. Aplicaciones de <i>edge computing</i>	163
6.9. <i>Data lake</i> (lagos de datos): los nuevos depósitos de almacenamiento de datos	164
6.9.1. Origen del término <i>data lake</i>	165
6.9.2. Definición de <i>data lake</i>	165
6.9.3. Propiedades, ventajas e inconvenientes de los <i>data lake</i>	166
6.9.4. Proveedores de soluciones de <i>data lake</i>	167
6.10. <i>Data warehouse</i> versus <i>data lake</i> ...	168
6.11. Los centro de datos como soporte de <i>cloud computing</i> y de Internet de las cosas	170
6.12. El futuro de la nube en el horizonte 2025	171
RESUMEN.....	173
BIBLIOGRAFÍA	174
RECURSOS WEB	176
NOTAS	177

Capítulo 7 Big Data. Arquitectura y componentes

Introducción.....	179
-------------------	-----

Capítulo 8 Inteligencia artificial en Internet de las cosas

Introducción.....	181
8.1. Historia y evolución de inteligencia artificial	181
8.2. Inteligencia artificial aplicada	184
8.3. Aprendizaje automático	186
8.3.1. Aprendizaje supervisado	186
8.3.2. Aprendizaje no supervisado	186
8.3.3. Aprendizaje reforzado.....	187
8.4. Aprendizaje profundo.....	187
8.5. Aprendizaje automático frente a aprendizaje profundo.....	189

8.6. El futuro de la inteligencia artificial: el aprendizaje profundo	190
8.7. Asistentes virtuales: bots y chatbots	191
8.7.1. Tipos de asistentes virtuales	192
8.7.2. Aplicaciones de los bots	193
8.7.3. Asistentes virtuales en páginas web de organizaciones y empresas	194
8.8. Plataformas de bots	194
8.9. Chatbots de empresa: el caso de la atención al cliente	195
8.10. Caso de estudio: Alexa de Amazon	196
8.11. Caso de estudio: Slack	197
8.12. Diferencias funcionales entre chatbots y asistentes virtuales	198
8.13. Altavoces inteligentes	202
8.14. La seguridad en los bots	202
8.15. El uso ético de la inteligencia artificial aplicada en la Unión Europea y en España	203
RESUMEN	205
BIBLIOGRAFÍA	206
RECURSOS	207
NOTAS	207

Capítulo 9

Robótica: cobots, robots de software, drones, vehículos autónomos

Introducción	209
9.1. Estado del arte de la robótica	210
9.1.1. La visión de robótica de IDC	211
9.2. La robótica en la generación y posibles pérdidas de empleos	211
9.2.1. Estudio del Foro de Davos sobre el futuro del empleo (enero 2016)	212
9.2.2. Estudio sobre robotización del McKinsey Global Institute	212
9.3. Los riesgos de la inteligencia artificial en la robótica	213
9.4. Robots colaborativos (cobots)	214
9.4.1. Tecnologías complementarias de la robótica colaborativa	215
9.5. Problemas legales de los robots industriales en el empleo	216
9.6. Automatización robótica de procesos (RPA): robots de software	216
9.7. Drones	220
9.7.1. Tipos de drones	221
9.7.2. Arquitectura-ingeniería de un sistema de drones	222

9.7.3. Componentes de un dron: una panorámica global	224
9.7.4. Aplicaciones de los drones	226
9.7.5. Normas y regulaciones de los drones	227
9.8. Vehículos autónomos y vehículos conectados	228
9.8.1. Tecnologías básicas en los vehículos autónomos	229
9.8.2. Tecnologías de asistencia a la conducción más divulgadas y utilizadas	230
9.8.3. Tecnologías específicas del vehículo conectado	234
9.8.4. Niveles de conducción autónoma	235
9.8.5. Regulaciones y normas de conducción internacionales	238
9.8.6. Caso de éxito (autobús autónomo)	238
RESUMEN	239
BIBLIOGRAFÍA	240
RECURSOS	240
NOTAS	242
ANEXOS	245

Capítulo 10

Internet de las cosas y blockchain: Integración

Introducción	247
---------------------	------------

Tercera parte. Ciudades inteligentes (smart cities)

Capítulo 11

Ciudades inteligentes

Introducción	249
11.1. ¿Qué es una ciudad inteligente?	249
11.2. Modelos de ciudad inteligente	251
11.2.1. Modelo de ciudad inteligente de la Unión Europea	251
11.2.2. Modelo de ciudad inteligente del ONTSI	254
11.2.3. Otros modelos de ciudades inteligentes	257
11.3. Tecnologías habilitadoras de smart cities	259
11.4. El rol de IoT y 5G en la hiperconectividad inteligente de la ciudad inteligente	261

11.5. <i>Open Data</i> . Los datos abiertos al servicio del ciudadano.....	262
11.5.1. Iniciativas <i>Open Data</i>	264
11.6. Aplicaciones (casos de uso) de ciudades inteligentes	265
11.7. Estrategias internacionales de ciudades inteligentes	266
11.8. Arquitectura de una ciudad inteligente.....	267
11.9. Normalización de las ciudades inteligentes (AENOR)	269
11.10. Las redes eléctricas inteligentes (<i>smart grids</i>)	270
11.10.1. Sensores en las ciudades inteligentes.....	271
11.11. Ciudades inteligentes: casos de éxito y rankings.....	273
11.11.1. Ranking de ciudades inteligentes <i>IESE Cities in Motion Index 2019</i>	273
RESUMEN	275
BIBLIOGRAFÍA.....	276
RECURSOS	277
NOTAS.....	277

Cuarta parte. Inteligencia, seguridad y privacidad de los datos

Capítulo 12

Analítica de datos de la Internet de las cosas

Introducción	279
--------------------	-----

Capítulo 13

Seguridad y ciberseguridad en Internet de las cosas

Introducción	281
13.1. Seguridad y privacidad de la Internet de las cosas.....	282
13.2. ¿Qué es la ciberseguridad?.....	282
13.3. La ciberseguridad en tiempo real ...	285
13.4. Seguridad de la información y privacidad en Internet de las cosas.....	287
13.5. Infraestructuras críticas.....	288
13.6. Ciclo de vida de la ciberseguridad... ..	289
13.7. Ciberamenazas: agentes y tipos.....	291
13.8. Ciberataques: herramientas utilizadas por los atacantes.....	292
13.9. Resiliencia.....	293

13.10. Tendencias en ciberseguridad.....	294
13.11. La web profunda, la web invisible (<i>deep web</i>)	296
13.12. Los ciberriesgos	296
13.13. Directiva de ciberseguridad (NIS) de la Unión Europea	298
13.14. Estrategia de ciberseguridad de la Unión Europea	299
13.15. Seguridad en Internet de las cosas	300
13.16. Normativas de seguridad y privacidad en Internet de las cosas	301
13.17. Normativas y tendencias en ciberseguridad de la Internet de las cosas	302
RESUMEN.....	304
BIBLIOGRAFÍA	305
RECURSOS	306
NOTAS	307

Capítulo 14

Ética, privacidad y protección de datos en la Internet de las cosas: Normas legales y regulaciones, consorcios y organizaciones

Introducción.....	311
14.1. La ética y la responsabilidad social de las empresas en el ecosistema de IoT	312
14.2. Evaluación de impacto en la protección de datos	313
14.3. <i>Reglamento de Protección de Datos y de Privacidad de la Unión Europea</i>	314
14.3.1. Aspectos más sobresalientes del reglamento vigente	314
14.3.2. Recomendaciones de la AEPD sobre el reglamento GDPR	315
14.4. El Delegado de Protección de Datos (DPO)	316
14.5. Evaluación de impacto en la privacidad.....	317
14.5.1. Privacidad desde el diseño	317
14.6. Privacidad en Internet de las cosas	320
14.6.1. Ley de Privacidad de Internet de las cosas de California	321
14.7. Precauciones de seguridad en IoT... ..	321
14.7.1. Caso de estudio: proyecto destinado a la seguridad de la Internet de las cosas de Telefónica	323

14.8. Guía de privacidad y seguridad en Internet (AEPD/INCIBE)	324
14.9. El escudo de privacidad Unión Europea- EE. UU.	325
14.10. Consorcios y organizaciones internacionales.....	326
14.10.1. Consorcios de redes de área personal (PAN/WPAN)	326
14.10.2. Consorcios de protocolos	327
14.10.3. Consorcios WAN/WWAN	327
14.10.4. Consorcios Fog y Edge.....	328
14.10.5. Consorcios de la industria	328
14.10.6. Organizaciones de seguridad (EE. UU.)	329
14.10.7. Organizaciones de seguridad (Europa)	329
14.10.8. Organizaciones de seguridad (Latinoamérica y Caribe)	330
14.10.9. Alianza Global de Ciudades Inteligentes del G20 (globalsmartcitiesalliance.org).....	330
RESUMEN	330
BIBLIOGRAFÍA.....	331
RECURSOS	332
ANEXOS	333

Quinta parte. La conectividad inteligente: Tendencias y tecnologías disruptivas del futuro de la Internet de las cosas

Capítulo 15

El futuro hiperconectado: la conectividad inteligente y las tendencias tecnológicas de Internet de las cosas

Introducción.....	335
15.1. Tecnologías emergentes para 2020 (Gartner, agosto 2019)	336

15.2. Las 10 principales tendencias tecnológicas de Gartner para 2020 (octubre 2019).....	340
15.3. Tecnologías disruptivas de impacto en los negocios.....	343
15.4. El nuevo mundo hiperconectado: la Internet de las cosas y las redes 5G (informe <i>The Mobile Economy 2019</i> de GSMA).....	344
15.5. Redes 5G. La espina dorsal del futuro IoT.....	346
15.5.1. Industrias de impacto de las redes 5G en la Internet de las cosas	348
15.6. Tendencias tecnológicas inalámbricas emergentes para 2020, Gartner.....	349
15.7. Tendencias y tecnologías estratégicas de Internet de las cosas en 2023	351
15.8. El futuro de Internet de las cosas	354
15.8.1. Tendencias de impacto en el futuro de IoT, según Salah Mohamed	354
15.8.2. <i>Future of IoT</i> de Ernst And Young	355
15.9. Los negocios del futuro en Internet de las cosas	357
15.9.1. El mercado global de Internet de las cosas	358
15.10. La referencia mundial en IoT: <i>World Congress Internet of Things</i> (Barcelona).....	358
15.11. La hiperconectividad del futuro	359
15.11.1. Futuras redes: Wifi 7	359
15.11.2. Futuras redes móviles: 6G.....	360
RESUMEN.....	360
BIBLIOGRAFÍA	361
RECURSOS	361
NOTAS	363

Prólogo

Las Tecnologías de la Información y la Comunicación (las TIC) han sido y seguirán siendo dinámicas y evolutivas, por naturaleza, liderando la emergencia continua de nuevas tendencias tecnológicas y empresariales. Los avances en los recursos de informática, sistemas de software y redes de comunicaciones, unidos a la continua miniaturización de los componentes hardware (sensores y dispositivos), han hecho posible un ecosistema de Internet de las cosas inteligente y desplegado a lo largo de toda la superficie geográfica global.

La **Internet de las cosas** (*Internet of Things*, IoT) es un nuevo ecosistema tecnológico y social que desde hace unos años está emergiendo en organizaciones y empresas, y está comenzando a llegar a la sociedad como una nueva revolución tecnológica y social. Está ayudando a la transformación digital de las organizaciones y empresas, y es la espina dorsal de la **Industria 4.0** y la naciente **cuarta revolución industrial**. Este libro trata de describir y analizar el nuevo ecosistema creado en torno a las tecnologías facilitadoras de las cosas y los objetos inteligentes.

Su potencial es muy elevado, y las posibles aplicaciones de este modelo son incontables. Por consiguiente, es importante tener un conocimiento exhaustivo y profundo de las comunidades sociales, tecnológicas y de negocios sobre la disciplina. El libro, en consecuencia, proporciona un modelo y unos principios, y presenta sus principales tecnologías habilitadoras en los dominios de aplicación de mayor impacto, destacando aspectos importantes, como la necesidad de estándares y seguridad. Se presenta el panorama actual y futuro, así como los sectores de mayor impacto para el bienestar de las personas y la riqueza de las organizaciones y empresas, destacando especialmente las ciudades inteligentes e hiperconectadas.

Los dispositivos de informática de conectividad entre objetos han conducido a un mundo conectado digitalmente, que se inició al principio de la década de 2010, e incluso la década anterior, cuando el mundo cableado (cable y fibra óptica) era omnipresente y las conexiones a Internet crecían a gran velocidad.

La aparición y el despliegue de entornos cada vez más digitalizados, gracias a las infraestructuras de la nube (*cloud computing*) y sus dos plataformas complementarias, la informática o computación en el borde (*edge computing*) y la informática en la niebla (*fog computing*), unidas al crecimiento de sensores inteligentes, etiquetas RFID y NFC, teléfonos inteligentes, dispositivos “ponibles” (*wearables*), o el crecimiento continuo de los drones (vehículos voladores), o robots virtuales de software (**RPA**, automatización robótica de procesos), han conducido a un mundo más hiperconectado, sustentado en tecnologías y redes **5G**, que ya han iniciado su despliegue en numerosas regiones del globo, así como las redes inalámbricas wifi con el desarrollo creciente de la última versión **Wifi 6**.

El libro presenta las tecnologías habilitadoras y herramientas de mayor impacto, junto con las técnicas y metodologías que están haciendo posible el despliegue de la Internet de las cosas. En ese sentido, esta obra describe los retos y oportunidades que trae esta nueva revolución de Internet. También aborda los cambios sociales y organizativos a los que se deberá enfrentar la sociedad desde una perspectiva tecnológica y de convergencia de las tecnologías facilitadoras antes mencionadas; y analiza las organizaciones y consorcios nacionales e internacionales del sector, y las normativas legales y de privacidad vigentes en Europa y América, fundamentalmente.

OBJETIVOS

El libro se ha escrito con una visión global dirigida tanto a lectores generalistas interesados en conocer los retos y oportunidades que Internet de las cosas trae a la sociedad actual y futura, como a los profesionales, empresarios, docentes e investigadores en las tecnologías disruptivas de impacto.

Por eso, puede ser utilizado como libro de texto para estudiantes de grado (carreras universitarias, tecnológicas y de formación profesional) o posgrado (máster, especializaciones, expertos y doctorados). Asimismo, busca llegar a aquellos investigadores y profesionales de las TIC interesados en esta materia. Por estas circunstancias, se han incluido en cada capítulo notas de referencia y bibliografía, además de recursos físicos y en línea que puedan ayudar.

La Internet de las cosas es una nueva disciplina y tendencia tecnológica que cada día se implanta más en numerosas organizaciones y empresas, y su desarrollo será creciente. De igual forma, se está introduciendo como asignatura o cursos en carreras de Ingeniería y Ciencias, carreras de Economía, Administración de Empresas, Marketing, Comunicación y Biblioteconomía, y otras disciplinas afines. Así, en los últimos años han nacido numerosas asignaturas con el mismo título para numerosas carreras y diferentes facultades y escuelas e institutos tecnológicos y politécnicos, así como másteres específicos. Por estas razones, el autor ha intentado escribir un libro profesional que a la vez pueda ser utilizado como libro de texto y consulta por docentes, alumnos, profesores y maestros que lo consideren oportuno.

La obra tiene un perfil muy generalista y profesional. Si bien tiene un marcado carácter tecnológico innovador y avanzado, dirigido a profesionales de ingeniería, empresa y negocios, se ha escrito de modo que pueda llegar a profesiones relacionadas con las ciencias sociales, el derecho, las relaciones públicas, el marketing o el turismo, y que deseen conocer el impacto de esta revolución en la sociedad, pero con el foco en el análisis social, económico y tecnológico.

Internet de las cosas es una nueva obra de la colección NTICS (Negocios, Tecnología, Innovación, Conocimiento y Sociedad), dirigida a describir la nueva revolución de Internet de las cosas y el nuevo mundo que se configura en torno a

los miles de millones de objetos y dispositivos inteligentes conectados entre sí a través de Internet.

ORGANIZACIÓN

La obra se ha organizado de modo que ayude al lector a conocer los conceptos clave y las tecnologías habilitadoras de IoT para el aprendizaje de aplicaciones específicas, y un conocimiento con mayor profundidad de este ecosistema. Se han incluido referencias, bibliografía y recursos en cada capítulo con el objetivo de facilitar al lector los conceptos básicos, y proporcionarles los medios necesarios para ampliarlos desde el punto de vista profesional, de estudiante, profesor o investigador. El libro se ha dividido en cinco partes, cada una de las cuales se dedica a un área de conocimiento específico, y quince capítulos.

Parte I. El ecosistema de Internet de las cosas (IoT)

Esta parte se compone de cinco capítulos, que contienen los conceptos fundamentales y nucleares que definen la Internet de las cosas, así como su origen y evolución.

Capítulo 1. Proporciona una revisión introductoria del ecosistema de la Internet de las cosas, incluyendo sus ideas conceptuales notables, y las tecnologías habilitadoras de la transformación digital, así como las características más importantes de la hiperconectividad de las redes de comunicaciones generalistas y específicas, y los conceptos nucleares de la arquitectura y las plataformas de la Internet de las cosas y la Internet industrial de las cosas. Se realiza también una primera introducción sobre las ciudades inteligentes, la seguridad, y las normas y aspectos regulatorios de la IoT.

Capítulo 2. Explora las nuevas tendencias tecnológicas de la Industria 4.0, y las ideas fundamentales que soporta la cuarta revolución industrial. Describe el panorama tecnológico de IoT con sus tecnologías habilitadoras, centrándose en la descripción de las tecnologías y dispositivos fundamentales que están alcanzando gran influencia, como: dispositivos drones y *wearables* (“ponibles”), experiencias inmersivas (realidad virtual, realidad aumentada y realidad mixta), gemelos digitales, fabricación aditiva/impresión 3D, y una primera revisión de *blockchain*, la inteligencia artificial y la fabricación digital inteligente.

Capítulo 3. La espina dorsal del ecosistema IoT es la hiperconectividad de sus redes de comunicaciones. El capítulo describe las tecnologías y redes de comunicaciones utilizadas en la Internet de las cosas, tanto móviles o celulares como 4G Y 5G, y la última versión oficial de las redes wifi, Wifi 6, y las redes de comunicaciones específicas de IoT LPWAN, como las redes celulares NB-IoT y LTE-M, y las redes especiales de bajo consumo y largo alcance abiertas “sin licencia de frecuencia” como LoRa o Sigfox.

Capítulo 4. Los sistemas de hardware y software de Internet se articulan en la denominada arquitectura de referencia de Internet y de Internet de las cosas. Se

describen las arquitecturas tradicionales de Internet: OSI y TCP/IP, así como los modelos de referencia de tres capas y cinco capas más utilizados en Internet de las cosas. Se describen los componentes de las plataformas de IoT, como los sensores, actuadores y otros dispositivos. Por su importancia comercial, se hace una primera introducción a los informes específicos de la consultora Gartner, como el cuadrante mágico de plataformas de IoT.

Capítulo 5. El ecosistema de IoT tiene un gran impacto en el sector industrial. La Internet industrial como origen, y la Internet industrial de las cosas como destino, son los temas centrales del capítulo. Se describen los tradicionales y clásicos sistema SCADA, que desde hace años se integran en la industria y sus cadenas industriales; sus características más importantes y su integración con el IIoT se reseñan en el capítulo. Se dedican apartados específicos a proveedores de soluciones de IIoT recurriendo a informes de las consultoras Gartner, Forrester e IoT Analytics.

Parte II. Infraestructuras de Internet de las cosas

Esta parte comprende cinco capítulos (6 al 10), que describen las infraestructuras de asistencia que constituyen el armazón del ecosistema de IoT como *cloud computing*, Big Data, inteligencia artificial (IA), robótica y *blockchain*.

Capítulo 6. Se centra en la infraestructura clave de IoT: la nube (*cloud computing*), sus conceptos y modelos fundamentales, así como temas relativos a la seguridad, aspectos económicos y contratación de servicios. IoT ha traído la potenciación de la informática en el borde (*edge computing*) y en la niebla (*fog computing*), así como en los depósitos de información más modernos, los lagos de datos (*data lake*).

Capítulo 7. Los grandes volúmenes de datos (Big Data) generados y recolectados por las fuentes de la IoT adquieren su importancia y fiabilidad en la toma de decisiones, cuando se utilizan eficazmente los diferentes tipos y fuentes de datos. La optimización de los datos requiere de una arquitectura de Big Data organizada en capas que permita la conversión adecuada de los datos para una toma de decisiones más eficiente.

Capítulo 8. La inteligencia artificial aplicada (IAA) se ha convertido en la tendencia tecnológica de mayor impacto en la Internet de las cosas, integrada con las otras tecnologías nucleares como Big Data, *cloud*, *blockchain* y la robótica. Los asistentes virtuales y altavoces inteligentes se han convertido en dispositivos y software de impacto en la IoT.

Capítulo 9. La robótica, sin duda, se integra con la Inteligencia Artificial, la gran tendencia tecnológica de impacto en la IIoT. Los robots colaborativos (*cobots*) son uno de los dispositivos de mayor impacto en la fabricación inteligente. Los robots virtuales de software RPA son cada día más utilizados en las organizaciones y empresas para reforzar o sustituir el software tradicional, y convertirlo en una herramienta más potente. Los drones son robots físicos que

tienen innumerables aplicaciones, y contribuyen a la gran instalación y despliegue de la Internet de las cosas.

Capítulo 10. Aunque la tecnología *blockchain* es antigua (su conocimiento y uso comenzó en 2008 con el lanzamiento de la criptomoneda *bitcoin*), se ha convertido en una tecnología clave e innovadora que garantiza la seguridad y confianza en las transacciones y comunicaciones de la Internet de las cosas.

Parte III. Ciudades inteligentes (smart cities)

Esta parte solo contiene el capítulo 11, dedicado a las ciudades inteligentes, ya que la temática merece entidad de disciplina autónoma; su soporte básico son las tecnologías habilitadoras descritas en las partes I y II.

Capítulo 11. Se describen las tecnologías habilitadoras, modelos y arquitecturas de la ciudad inteligente, así como las aplicaciones y casos de uso. Se hace una referencia al *ranking* de ciudades inteligentes del IESE, y al rol de las redes 5G y la propia Internet de las cosas en el desarrollo y funcionamiento de este modelo de ciudad.

Parte IV. Inteligencia, seguridad y privacidad de los datos

Esta parte se centra en las técnicas, normas y regulaciones legales —nacionales e internacionales— de la Internet de las cosas para su explotación en las actividades diarias de organizaciones y empresas, como el análisis de datos o las prácticas de seguridad y privacidad.

Capítulo 12. El análisis de datos es una de las tareas principales en el ciclo de vida de los datos para convertirlos en conocimientos que ayuden a tomar decisiones. Conceptos básicos, clasificación y tipos de analítica de datos se revisan en este capítulo. Se describen, de modo muy específico, los tipos especiales de analítica de datos centrados en datos sociales, como la analítica social y la de sentimientos.

Capítulo 13. Internet de las cosas trae consigo una gran cantidad de oportunidades y de beneficios para la sociedad, economía e industria. Sin embargo, la evolución del ecosistema también viene acompañada de grandes retos que son necesarios afrontar, principalmente, en las áreas de seguridad, seguridad cibernética y privacidad. Las amenazas, riesgos, delitos y ataques cibernéticos obligan a la necesidad del cumplimiento de estrategias y directivas de seguridad nacional e internacional.

Capítulo 14. La ética de la Internet de las cosas, unida a la ética en la inteligencia artificial y la robótica, especialmente, hacen de su cumplimiento una necesidad obligatoria tanto a nivel corporativo como personal. El *Reglamento General de Protección de Datos de la Unión Europea* y la vigente nueva Ley de España son normativas muy avanzadas y de gran fiabilidad, tanto en el aspecto de la privacidad como de la propia seguridad de la información. El capítulo se

completa con una descripción de las organizaciones y consorcios nacionales e internacionales de mayor influencia en el campo de la Internet de las cosas.

Parte V. La conectividad inteligente: Tendencias y tecnologías disruptivas del futuro de la Internet de las cosas

Capítulo 15. El despliegue de Internet de las cosas está creciendo gracias a las numerosas tecnologías estratégicas y emergentes que consolidan su ecosistema. Se destacan en este capítulo final las tendencias tecnológicas estratégicas que configuran el futuro de Internet de las cosas, así como las tecnologías inalámbricas **6G** y **Wifi 7**, que anuncian el horizonte 2030, pero que llegarán mucho antes. El año 2020 comenzó, como cada año, desde el enfoque de las novedades tecnológicas con dos grandes eventos mundiales: el primero, la feria de Electrónica CES Las Vegas (del 7 al 11 de enero de 2020) y su lema central fue: “La Inteligencia de las Cosas”; el segundo gran evento mundial es el Congreso Mundial de Móviles (MWC) de Barcelona, referencia obligada en el mundo de las telecomunicaciones móviles, cuya celebración estaba prevista del 24 al 27 de febrero de 2020, pero fue suspendido por la GSMA por razones de causa mayor relacionadas con la epidemia del coronavirus.

AGRADECIMIENTOS

Como siempre, mi agradecimiento eterno a mis alumnos y a los asistentes de mis numerosas conferencias, seminarios y cursos que he impartido en estos cuatro últimos años en distintas universidades españolas y latinoamericanas, donde he dedicado una especial atención a la Internet de las cosas y los ecosistemas asociados a la Industria 4.0. Muchas gracias. Vuestro apoyo, recomendaciones, consultas y consejos son mi gran soporte a la hora de transmitir mis conocimientos y volcarlos, en esta ocasión, en esta obra.

Al igual que en otras ocasiones, agradecer a mi editor, y sin embargo amigo, Damián Fernández, por su asesoramiento continuo mediante consejos, guías y recomendaciones, que me han acompañado en todo momento durante el largo proceso editorial. También, al director editorial y amigo, Marcelo Grillo, por sus sabios consejos y recomendaciones, que siempre me acompañan en todo proyecto editorial. Al resto del equipo editorial con sede en CDMX de México, y otras sedes de Alfaomega, en especial, Colombia y Perú, donde físicamente en los últimos tres años he tenido su soporte y amistad, con ocasión de mis visitas a las universidades de ambos países.

En Carchelejo (Sierra Mágina), Jaén, Andalucía, España, y en Ciudad de México (CDMX), México. Junio 2020.

Lecturas complementarias en la Web

En la tabla de contenidos de la obra notará que algunos capítulos extra son para descargar desde nuestra página Web.

Por favor, diríjase a www.marcombo.info, y complete el registro con el código promocional **IOT2**. Una vez hecho esto, busque el código en nuestro buscador y encontrará el enlace a los capítulos extra.

Acerca del autor

Luis Joyanes Aguilar

Presidente de la Fundación I+D del Software Libre (Fidesol), Granada (España). Dr. Ingeniero en Informática por la Universidad de Oviedo y Dr. en Sociología por la Universidad Pontificia de Salamanca. Dr. Honoris Causa por la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo (UPAO) (Perú); por la Universidad San Martín de Porres, Lima (Perú) y por la Universidad Inca Garcilaso de la Vega, Lima (Perú). Líder Académico del TEC de Monterrey, México, campus Querétaro. Catedrático de Lenguajes y Sistemas Informáticos de la UPSA. Profesor de Inteligencia de Negocios y de Ciencia de Datos de la Universidad Católica de Ávila (UCAV) y de la Ávila Business School de la UCAV. Profesor invitado y visitante de numerosas universidades de Latinoamérica y El Caribe. Conferenciante habitual en congresos, simposios y jornadas a nivel internacional. Ha dirigido más de 50 tesis doctorales de estudiantes españoles, portugueses y latinoamericanos. Ha escrito más de 40 libros de TIC y más de 100 artículos científicos y profesionales. Sus últimos libros son: *Industria 4.0: La Cuarta Revolución Industrial e Inteligencia de Negocios y Analítica de Datos*. Investigador del Grupo de Investigación de “Ética en la Nube” de la Facultad de Filosofía de la Universidad Complutense de Madrid. Miembro del Instituto Universitario “Agustín Millares” de la Universidad Carlos III de Madrid. En abril de 2018 recibió la Mención Honorífica del Doctorado en Ingeniería de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, de Bogotá (Colombia).

CAPÍTULO 1

INTERNET DE LAS COSAS: UNA VISIÓN GENERAL DEL ECOSISTEMA DE INTERNET DE LAS COSAS

INTRODUCCIÓN

La Internet de las cosas (*Internet of Things*, IoT) se ha convertido en una tendencia al alza, y de modo exponencial en la industria y la empresa. La industria, sobre todo, se está viendo afectada positiva y considerablemente, y se ha consolidado el concepto de *Internet industrial de las cosas*, apoyado en las tendencias de la Internet industrial y la Industria 4.0, a las que se han unido las nuevas tendencias tecnológicas disruptivas que están llegando con la *cuarta revolución industrial*.

Los analistas y las consultoras predicen que los productos y servicios de IoT crecerán exponencialmente en los próximos años. En 2020, según Cisco, se esperan más de 50.000 millones de dispositivos conectados entre sí y a Internet, en un mundo interconectado y ubicuo; la consultora Gartner calcula, también para el año 2020, 25.000 millones de dispositivos, e IDC prevé 20.000 millones. La cantidad de cifras es diferente y grande, pero tienen en común que son decenas de miles de millones las previsiones de objetos conectados, cuando la población mundial en 2019 no superaba los 8000 millones de personas; es decir, de 3 a 5 dispositivos conectados por habitante.

La explosión de la Internet de las cosas se debe, esencialmente, a una confluencia de diferentes sistemas: M2M (máquina a máquina), sistemas embebidos, sistemas de comunicaciones, sistema de la Web, dispositivos y aplicaciones móviles. Pese a los espectaculares números y las grandes oportunidades que ofrecerá en nuestras vidas, Internet de las cosas también se enfrenta a muchos retos y limitaciones, debido a un gran número de factores que impulsarán en sentido negativo su despliegue universal.

En el capítulo se hará una introducción general de las tendencias tecnológicas disruptivas, la evolución y las perspectivas históricas de la Internet de las cosas, así como de las aplicaciones y sectores de mayor impacto, junto a una introducción al ciclo de vida de los datos de las fuentes de la Internet de las cosas, junto con una introducción a las amenazas, oportunidades, fortalezas y habilidades que traen consigo. Asimismo, se hará una breve introducción a la seguridad y privacidad de la Internet de las cosas. Todos estos conceptos se detallarán en mayor profundidad en los capítulos restantes de esta obra.

1.1. ¿QUÉ ES INTERNET DE LAS COSAS (*INTERNET OF THINGS, IOT*)?

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT, ITU), organismo de las Naciones Unidas encargado de la estandarización y normativas de las telecomunicaciones móviles a nivel mundial, publicó, a principios de 2019, estadísticas sobre el número de usuarios conectados a Internet a finales de 2018. El organismo internacional indicaba en su informe que unos 3900 millones de personas utilizaban Internet, por lo que por primera vez señalaba que más de la mitad de la población mundial estaba conectada en línea (un 51,2 % de los habitantes del mundo). La plataforma Hootsuite da la cifra de 4338 millones de usuarios de Internet en todo el mundo, un 57 % de la población mundial. El 67 % dispone de un teléfono móvil, es decir, 5112 millones de personas. La UIT estimaba el 28 de diciembre de 2019 que, a finales de 2019, el 50 % de la población mundial tendrá acceso a Internet.

Si unimos estas cifras a las mencionadas anteriormente de previsiones de objetos (cosas) conectados a Internet, se puede llegar a la conclusión de que la Internet de las cosas es un ecosistema que traerá grandes cambios a la sociedad y a la vida de los habitantes del mundo. Entonces, podemos definir la Internet de las cosas de modo estándar (véase el apartado 1.2).

Desde hace unos años, Internet de las cosas (*Internet of Things*, IoT) es uno de los términos más utilizados y populares en los medios de comunicación tanto analógicos como digitales. En la actualidad, es la espina dorsal sobre la que se sustenta, junto con el Big Data, la nueva tendencia de Industria 4.0.

Los sensores electrónicos están presentes en todas partes y se integran en infinidad de dispositivos, que se han vuelto inteligentes y están conectados en redes cableadas e inalámbricas, y a su vez a Internet, constituyendo una red global de conectividad total y ubicua, llamada Internet de las cosas. Los teléfonos inteligentes incorporan sensores de todo tipo, giróscopos, acelerómetros que permiten su posicionamiento de un modo rápido casi en tiempo real. La reducción en tamaño de estos dispositivos electrónicos, su abaratamiento de costes, y el aumento en la cantidad de información que pueden generar ha convertido el mundo actual en un mundo conectado de cosas u objetos inteligentes.

Los protocolos de comunicación permiten el intercambio de información entre dispositivos y aplicaciones, y los sensores presentes en cualquier lugar son accesibles a

los demás dispositivos y aplicaciones. Las primeras redes M2M (máquina a máquina) permitieron la comunicación entre máquinas, las redes de sensores inalámbricas (WSN, *World Sensor Network*) la conexión “sin cables”, y sobre todo el despliegue universal de redes inalámbricas como wifi y WiMax, han conseguido la conectividad global existente en la actualidad, que seguirá aumentando para llegar a cualquier lugar, y que se podrá realizar en cualquier momento y con cualquier dispositivo.

El despliegue ya universal de las redes inalámbricas, móviles 4G y 4G LTE y la nueva versión oficial de wifi, Wifi 6, la creciente llegada de las redes 5G, que aumentarán las velocidades de transmisión de datos de forma espectacular, y la incorporación de las innovadoras tarjetas e-SIM en los teléfonos inteligentes con todas las ventajas que aportarán, y la llegada de los sensores inteligentes a los dispositivos *wearables* (ponibles) utilizados por las personas y las cosas, harán que Internet de las cosas conviva en la sociedad como ahora lo hace la Internet ordinaria.

Cisco, el primer fabricante de telecomunicaciones del mundo, prevé para 2020 cincuenta mil millones de dispositivos conectados en el mundo. Aunque esta cifra puede variar, lógicamente según la fuente con otros estudios, lo que no cabe duda es que serán decenas de miles de dispositivos. Internet de las cosas, en su acepción más simple, es la conexión de dispositivos y aplicaciones y está haciendo posible un mundo conectado o hiperconectado, convirtiendo a las cosas conectadas en inteligentes

Vivimos en un mundo conectado. Cada día aumenta el número de dispositivos de todo tipo que proporcionan acceso a Internet. Las cosas u objetos que permiten y van a permitir estos accesos irán aumentando con el tiempo. Ahora ya tenemos videoconsolas, automóviles, trenes, aviones, sensores, aparatos de televisión, electrodomésticos o desde cosas cada vez más diversas como la ropa o dispositivos *wearables*. El término Internet de las cosas está llegando al gran público con la denominación de Internet de los objetos. Los objetos son: libros, zapatos o componentes de un vehículo; y se agrupan en redes de objetos. Si estuviesen referenciados con dispositivos de identificación, chips RFID, NFC, esto es, si todos estuvieran equipados con etiquetas de radio frecuencia, todos podrían ser identificados y gestionados. Con la actual generación del protocolo IPv6 se podrá identificar instantáneamente cualquier tipo de objeto, hasta decenas y centenas de miles de millones, al contrario que la generación IPv4, cuyas direcciones de Internet están restringidas a 4300 millones.

La consultora McKinsey fue precursora y publicó, a principios de marzo de 2010, un informe de nuevos modelos de negocio basados en los sensores que aportaba como tema central la Internet de los objetos. McKinsey lo definía como: “Sensores y actuadores incrustados en objetos físicos, enlazados mediante redes con cables y sin ellos, que a menudo utilizan el mismo protocolo de la Internet (IP) que conecta a la Red”.

Internet de las cosas consiste en un nuevo sistema tecnológico donde tanto personas como objetos puedan conectarse a Internet en cualquier momento y lugar, y de esa forma ganar inteligencia y conversación entre los objetos. Ahora, es el momento de la comunicación entre las cosas, las máquinas (M2M, *Machine to Machine*), los objetos, a través de sensores, chips, NFC, RDID. Pero, ¿qué sucederá cuando casi todas las cosas estén conectadas a Internet? Sin duda, se producirá una transformación en la forma de hacer negocios, la organización del sector público, y el día a día de millones de personas. En un sentido más técnico, consiste en la integración de sensores y dispositivos en objetos cotidianos, que quedan conectados a Internet a través de redes

fijas e inalámbricas. El hecho de que Internet esté presente al mismo tiempo en todas partes permite que la adopción masiva de esta tecnología sea más factible. Dado su tamaño y coste, los sensores son fácilmente integrables en hogares, entornos de trabajo y lugares públicos. De esta manera, cualquier objeto es susceptible de ser conectado y “manifestarse” en la red. Además, la Internet de las cosas implica que todo objeto puede ser una fuente de datos.

Miles de millones de dispositivos están siendo conectados entre sí a través de distintas redes de comunicación. Pequeños sensores permiten medir desde la temperatura de una habitación hasta el tráfico de taxis en una ciudad. A diario, cámaras de vigilancia velan por la seguridad en los edificios, y los paneles del metro nos indican el tiempo que falta para la llegada del siguiente tren. Incluso en las multas de tráfico existe poca intervención humana.

En su ordenador hay cámaras y micrófonos. En su teléfono, inteligentes sensores GPS, sensores biométricos, acelerómetros y giróscopos. Si trabaja en un edificio moderno o vive en una casa recién construida vivirá rodeado de sensores modernos de movimiento, temperatura y humedad. Cada vez más objetos están siendo integrados con sensores, ganando capacidad de comunicación, y con ello las barreras que separan el mundo real del virtual se difuminan.

El mundo se está convirtiendo en un campo de información global, y la cantidad de datos que circula por las redes está creciendo exponencialmente. Como ya hemos analizado a lo largo del libro, cada vez más los términos gigabyte y terabyte están quedándose como unidades pequeñas, y los petabytes y exabytes serán los términos de unidades de almacenamiento que se utilizarán cada vez con mayor frecuencia.

1.2. DEFINICIÓN DE INTERNET DE LAS COSAS

No existe una definición única de Internet de las cosas, muy al contrario, son numerosas las definiciones del concepto, algunas de las más relevantes las iremos viendo a continuación. La idea original y su desarrollo fue introducida por Kevin Ashton, en 1999, un ingeniero que trabajaba por aquel entonces en Procter and Gamble en los Estados Unidos, con ocasión de una conferencia que impartió sobre la idea del uso de las etiquetas RFID (identificación por radiofrecuencia) en la optimización del proceso de la cadena de suministro, y como mejora eficaz de los códigos de barras.

Posteriormente, Kevin Ashton, en un artículo publicado en el *RFID Journal* el 12 de julio de 2009, ya introdujo el concepto formal para referirse al hecho de conectar todas las cosas que nos rodean con la finalidad de poder contarlas, saber su posición en cualquier momento, así como aportarnos información sobre el entorno que las rodea. La definición de Ashton destacaba:

Si tuviésemos ordenadores que fuesen capaces de saber todo lo que pudiese saberse de cualquier cosa (“las cosas”) —usando datos recolectados sin intervención humana— seríamos capaces de hacer seguimiento detallado de todo, y poder reducir de forma importante los costes y malos usos. Sabríamos cuando las cosas necesitan ser reparadas, cambiadas o recuperadas, incluso si están

frescas o pasadas de fecha. La Internet de las cosas tiene el potencial de cambiar el mundo como ya lo hizo Internet. O incluso más.

En esencia, Internet de las cosas es una nueva dimensión de Internet y una nueva generación de servicios que significa que cualquier cosa u objeto se puede comunicar entre sí y a Internet, en cualquier lugar y momento; es decir, de un modo ubicuo y, al realizar las comunicaciones mediante numerosos sistemas y tecnologías, el mundo estará hiperconectado.

La definición de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, UIT (ITU) se publicó el 4 de diciembre de 2012, y destaca que es una visión global, no solo tecnológica, y que tendrá numerosas consecuencias tecnológicas y sociales:

Infraestructura mundial para la sociedad de la información que propicia la prestación de servicios avanzados mediante la interconexión de cosas (físicas y virtuales) con base en la información existente y la evolución interoperable de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) presentes y futuras.

Una definición más simple que subyace en la ITU es:

Una sociedad definida por cosas inteligentes que pueden comunicarse entre sí directamente o a través de una red. Internet de las cosas comprende la posibilidad de conectar prácticamente cualquier dispositivo a la red, incrementando sus posibilidades de interacción con otros elementos gracias al nivel de interacción que permite Internet.

La OCDE la define en sentido muy amplio, en concreto, como “todos los dispositivos y objetos cuyo estado puede ser alterado a través de internet, con o sin la implicación directa de las personas”. Incluye, por tanto, ordenadores portátiles, servidores, tabletas y teléfonos inteligentes, que pertenecen tradicionalmente a la “Internet de las personas”, por llamarlo de alguna manera. Por otra parte, la verdadera Internet de las cosas es la que ellos denominan M2M (*Machine to Machine*) o la comunicación de datos con poca o ninguna interacción humana: “Dispositivos que se comunican activamente utilizando redes físicas o inalámbricas, que no son ordenadores en el sentido tradicional, y que utilizan Internet de una forma u otra”.

Otras definiciones prácticas

La prestigiosa revista económica *Forbes* da una definición muy simple e ilustrativa: “Internet de las cosas es el acto de conectar cualquier dispositivo a Internet, desde teléfonos móviles hasta máquinas de café”.

Peter Waher (2015: 3) plantea que, si los sistemas pueden acceder a los datos capturados por sensores directamente, entonces los datos serán más abundantes y exactos. Este concepto definió a un campo de estudio conocido como redes de sensores. ¿Cuál era la diferencia entre las redes de sensores e IoT? O entre IoT y Big Data. ¿En qué difiere IoT de la tecnología M2M o también D22 (*Device to Device*), donde se examinan con excepciones entre cosas? ¿O también en qué se diferencia de los sistemas ciberfísicos (CPS, *Cyber Physical Syssetms*) que se ocupan de sistemas que interactúan en el mundo real a través de sensores y actuadores? Entonces, cuál es la diferencia

entre IoT y todos los campos de estudio antes mencionados. Waher (2015) da una definición sencilla que creemos refleja bien el concepto: “La Internet de las cosas es lo que obtenemos cuando conectamos cosas —que no son operadas por seres humanos— a Internet.

Shaled Mohamed considera que Internet arranca: “Con una cosa y añade inteligencia computacional para mejorar sus funciones, a continuación, añade una conexión de red para mejorar más tarde sus funciones” (Mohamed, 2019: 2-3). El término *digital* representa “cantidades discretas” como la cantidad de personas en un aula, libros en una biblioteca, motos y automóviles en un aparcamiento, o artículos en un supermercado. Mientras que el término *analógico* se refiere a las magnitudes o valores que “varían” con el tiempo de forma continua como la temperatura, la velocidad. En la vida cotidiana, el tiempo se representa de forma analógica con relojes (agujas), y de forma discreta (digital) con indicadores digitales.

1.3. OBJETOS INTELIGENTES EN ENTORNOS INTELIGENTES

Seguiremos apoyándonos en Waher. Internet de las cosas no es lo mismo que redes de sensores dado que las cosas (u objetos) no necesitan ser sensores, ni las redes de sensores han de conectarse a Internet. De igual forma, Internet de las cosas no es lo mismo que Big Data, ya que no se requieren cosas para capturar o generar datos, ni aplicaciones para almacenar datos centralizados en los grandes almacenes de datos (en la nube).

Internet de las cosas no es parte de M2M, ya que los seres humanos pueden y desean acceder también a las cosas directamente. De igual forma, los sistemas ciberfísicos pueden conectarse con protocolos que no son de Internet, transportar mensajes entre máquinas y/o dispositivos de red, así como la automatización, con frecuencia en entornos cerrados y controlados.

Internet es mucho más que simple conectividad e intercambio de mensajes. Internet es abierto y cualquiera puede añadir cosas al mismo y puede operar de un modo totalmente acoplado. Internet no solo es abierto, sino que es la red más grande del mundo. Existen otras tendencias que consideran la Web de las cosas (*Web of Things*, WoT) como su subconjunto, donde las comunicaciones se limitan a tecnologías Web, tales como HTTP, navegadores, *scripting*.

Otro concepto que ha aparecido en estos años pasados es la *Internet of Everything* (IoE), Internet de todo. Es decir, añadir a las cosas u objetos, procesos y cualesquiera otras actividades de la vida humana que puedan ser conectadas a Internet. Las corrientes tecnológicas que impulsan este término consideran que IoT es un subconjunto de IoE. ¿Convivirán ambos términos? Es preciso considerar que la Internet de todo está apoyada por Cisco, la empresa número uno mundial en telecomunicaciones, y que, en los últimos años, se ha ido introduciendo, además de en comunicaciones digitales, en Internet, en el mundo del software, de la seguridad en TIC. Esto hace que el término haya adquirido una gran relevancia desde que Cisco lanzó el concepto en un artículo (*white paper*) publicado en 2015, y seguirá en aumento en los próximos años.

Nosotros optaremos por el término IoT a lo largo del libro, asumiendo que hoy en día son sinónimos la Internet de objetos y la Internet de todo.

Partiendo de la definición general antes dada de que Internet de todo es aquello que se tiene cuando conectamos cosas no operadas por los seres humanos a Internet, y siguiendo a Waher (2018:2), podemos considerar que la definición incluye cuatro componentes importantes:

- *Conexión*, que se refiere al estudio de protocolos de comunicación.
- Las cosas que se refieren al estudio de sensores, actuadores, controladores, concentradores...
- La *no operación por seres humanos*, que se refiere al aprovisionamiento.
- Internet se refiere a *seguridad*, incluyendo las identidades, autenticación y autorización, pero también a la interoperabilidad.

Todos estos conceptos se complementarán con la definición de Cisco de la **Internet de todo** (apartado 1.7), que veremos posteriormente. En consecuencia, los objetos de la Internet de las cosas son objetos inteligentes que se embeben en entornos inteligentes para comunicarse entre sí y con la red de Internet.

1.4. HISTORIA DE LA INTERNET DE LAS COSAS

El término Internet de las cosas, como ya se ha señalado, fue acuñado por Kevin Ashton, profesor del MIT en 2009 en un artículo publicado en el *RFID Journal*, aunque en ambientes de investigación ya se venía utilizando desde 1999, como el mismo Ashton declaró en alguna ocasión, en el Grupo Auto-ID Center también del MIT, donde se realizaban investigaciones en el campo de la identificación por radiofrecuencia (RFID) y tecnologías de sensores. En 1999, impartió una conferencia en Procter and Gamble donde habló por primera vez del concepto. En los primeros años del siglo XXI, se publicaron artículos en *The Guardian*, *Scientific American* y *The Boston Globe*. También se despliega la tecnología RFID de forma masiva, en la administración pública, el Departamento de Defensa de los Estados Unidos y en los almacenes Walmart, también de los Estados Unidos.

La organización internacional de las Telecomunicaciones ITU comenzó sus estudios sobre el tema con la publicación de un informe *Internet of Things*, en 2005, y el nombramiento de un Comité de Coordinación para su estudio en profundidad. En 2006, se consideraban cerca de 2000 millones de dispositivos electrónicos, como ordenadores de escritorio, portátiles, teléfonos móviles, consolas de videojuegos... conectados a Internet.

La empresa Cisco publicó, en abril de 2011, su teoría de la Internet de las cosas, que considera nació como concepto en el período 2008-09, y que en esta etapa el número de dispositivos conectados a Internet ya había superado el número de habitantes de la Tierra. En 2011, se presentó el protocolo de Internet IPV6, que permite identificar un total de 2^{128} direcciones, o lo que es lo mismo, ya es factible la conexión de miles de millones de objetos. La previsión de la propia empresa Cisco, aunque ya la hemos comentado antes, es de 50.000 millones de dispositivos electrónicos para 2020.

En 2011, Samsung, Google, Nokia y otros fabricantes anuncian sus proyectos NFC. Se crea la iniciativa *IoT-GSI Global Standards* para promover la adopción de estándares para IoT a escala global. En 2012 (15 de junio), ITU publica la *Recomendación ITU-T Y.2060 (06/2012)* de IoT, que cuando se publicó en español, en 2014, se tradujo con el nombre *Descripción general de Internet de los objetos*. Posteriormente, (05-02-2016), la *norma Y.2060, de 2012*, fue renombrada sin cambios a la serie *Rec. Y.4000 (2016-02-05)*. Más aún, ITU sigue trabajando sus estándares, y así continúa aprobando decenas de normas relacionadas con la Internet de las cosas. En 2015, crea una Comisión de Estudio 2.0 IoT, y sus aplicaciones son incluidas en ciudades inteligentes y comunidades.

1.5. APLICACIONES Y CASOS DE ESTUDIO DE LA INTERNET DE LAS COSAS

La Internet de las cosas es un gran ecosistema de objetos interconectados con miles de aplicaciones de todo tipo y de impacto en la mayoría de los sectores de la empresa, la industria, los negocios, la salud, las infraestructuras, la energía, la fabricación automotriz-férrea-aérea, los seguros, la cadena de suministro, logística, etc. Allí donde se encuentren objetos con sensores, chips RFID y/o NFC, códigos QR, existe una posible aplicación.

La Internet de las cosas ha aportado el apellido “inteligente”, que se ha unido a todo tipo de actividades y servicios, y así podemos encontrar:

- Redes inteligentes
- Movilidad inteligente
- Ciudades inteligentes
- Edificios inteligentes
- Hogar inteligente/domótica
- Transporte inteligente (público y privado)
- Automóviles inteligentes (eléctricos, conectados, autónomos)
- Gestión de aparcamientos públicos y privados inteligentes
- Salud y sanidad inteligente
- Vida inteligente
- Energía eléctrica inteligente (uso de contadores inteligentes)
- Energías alternativas inteligentes
- Entornos inteligentes
- Infraestructuras inteligentes
- Servicios públicos inteligentes
- Sistemas de transporte inteligente
- Agua inteligente

- Industria inteligente
- Economía inteligente
- Comercio inteligente
- Agricultura inteligente
- Ganadería inteligente
- Gestión de recursos inteligentes
- Recogida de basuras inteligente
- Domótica y automatización del hogar
- Etc.

1.5.1. CASOS DE ESTUDIO DE IOT

La IoT afecta a cada una de las facetas de nuestras vidas. Sus aplicaciones abarcan un gran número de escenarios, incluyendo casas y edificios inteligentes, ciudades inteligentes, redes inteligentes, Industria 4.0 y agricultura inteligente. En cada una de estas áreas, el uso del protocolo de comunicación común (IP) permite la construcción de aplicaciones innovadoras. Existen numerosas aplicaciones inteligentes que se han desarrollado, e indican su potencial en la mejora de la calidad de nuestra sociedad. Algunas de gran impacto mediático y social son:

- Automatización de las casas (hogar)
- Monitorización de la salud
- Protección del medio ambiente
- Ciudades inteligentes
- Entornos industriales
- Salud y *fitness*
- Vida social y entretenimiento
- Medio ambiente inteligente y agricultura inteligente
- Cadena de suministro y logística
- Conservación de la energía

Vamos a detallar y describir las características esenciales de las aplicaciones usuales de la Internet de las cosas.

Ciudades Inteligentes

Una de las aplicaciones más sobresalientes, y que dada su importancia le hemos dedicado un capítulo exclusivo, son las ciudades inteligentes, que incluyen a su vez: transporte inteligente, vehículos inteligentes, hospitales inteligentes, escuelas inteligentes, aparcamientos inteligentes, medio ambiente inteligente (gestión de la población, gestión

de residuos, monitorización del clima y recogida de basura). Las ciudades inteligentes utilizan las tecnologías TIC y específicas de IoT para mejorar la calidad de vida y protección del medio ambiente, así como en la mejora de la gestión de recursos.

Vehículos conectados

Un vehículo inteligente y autónomo es otro caso de uso de gran impacto. El automóvil está equipado con numerosos sensores y diferentes dispositivos de redes y comunicaciones. Los coches autónomos incluyen gran cantidad de dispositivos físicos y lógicos de hardware y software. La arquitectura de un vehículo autónomo tiene como componentes principales: sensores ultrasónicos, GPS, cámaras y sensores especiales LIDAR.

Los dispositivos de hardware controlan los diferentes métodos de entrada y salida. Los sensores recolectan información de GPS, cámaras, sensores especiales LIDAR y RADAR. Los vehículos conectados y autónomos se conectan entre sí y facilitan la captura de datos y la comunicación con otros vehículos y otros dispositivos de la ciudad o la carretera como farolas, semáforos, señales de tráfico, etc. Los sensores son conducidos por los actuadores que facilitan el control, y son los que realmente activan y mueven la máquina.

Casas inteligentes

Las casas (hogares) inteligentes están creciendo a una gran velocidad debido, fundamentalmente, al gran número de dispositivos que se conectan en aplicaciones y pasarelas de software (*gateways*). Así, dispositivos y aplicaciones inteligentes incluyen: luces inteligentes, bloqueos inteligentes de puertas, televisiones inteligentes (*smart TV*), sistemas de alarmas inteligentes, electrodomésticos inteligentes y cada vez, en mayor número, altavoces inteligentes —como Alexa o Google Echo—.

La utilización de tecnologías de IoT posibilita que los dispositivos y las aplicaciones se comuniquen entre sí de modo que el usuario pueda tener acceso a ellos en cualquier momento y lugar, y cada vez con mayor frecuencia con cualquier dispositivo físico —teléfono inteligente, tabletas, videoconsolas— o dispositivos lógicos (*bots*, *chatbots*, asistentes virtuales) o dispositivos híbridos como altavoces inteligentes. Así, aplicaciones típicas del hogar son:

- Sistemas de seguridad y protección (cerraduras, cámaras, detectores de humo)
- Vigilancia y monitoreo de la salud
- Ahorro de recurso energéticos (iluminación, calefacción, aire acondicionado)
- Control y monitorización remotos

Existe ya un gran número de compañías nacionales y multinacionales que construyen dispositivos y aplicaciones para el hogar (Apple, Google, Amazon, IBM). Los inconvenientes y riesgos de los hogares inteligentes son grandes. Se pueden producir ataques activos y pasivos, lo que requiere la necesidad de un mecanismo y sistemas de autenticación para prevenir dichos ataques. Los ataques activos incluyen denegación de servicios (DoS), modificación de mensajes y descifrado de contraseñas. Incluso, los ataques pasivos como las escuchas en las que el atacante obtiene información del sistema para tener conocimiento de la casa y realizar un posible ataque físico o