INTERNET DE LAS COSAS

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

Luis Joyanes Aguilar

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

Código: IOT2

INTERNET DE LAS COSAS

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

Luis Joyanes Aguilar

Marcombo

Alfaomega

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 (*Internet of Things*, 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 (*smart cities*) **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 *wearables* (ponibles) **38**
2.4.1. Componentes de un dispositivo *wearable* 39
2.4.2. Tipos de dispositivos *wearables* 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 (*digital twins*) **44**
2.9. Inteligencia artificial aplicada **45**
2.9.1. Asistentes virtuales y de voz (*bots*/*chatbots*) 46
2.10. Drones **47**
2.10.1. Aplicaciones de los drones 48
2.11. *Blockchain* **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, *Wireless LAN*, *Wireless Local-Area Network*) 60
3.2.3. Red inalámbrica de área metropolitana (WMAN) 60
3.2.4. Red inalámbrica de área amplia (*Wireless Wide-Area Network*, 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 *middleware* 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 *Industrial IIoT Platform*, mayo 2019 135
5.9.2. *The Forrester Wave Industrial IoT Software Platforms Q4 2019* 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 (*cloud computing*): origen, evolución y definición 142
6.1.1. Definición de la nube 144
6.2. Características de la *cloud computing* 145
6.3. Modelos de la nube (*cloud*) 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: *multicloud* (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 *cloud computing* 156
6.8. Computación en el borde y en la niebla (*edge computing* y *fog computing*) 157
6.8.1. *Edge computing* (computación en el borde) 158
6.8.2. *Fog computing* (computación en la niebla) 159
6.8.3. *Fog computing* versus *edge computing* 160
6.8.4. Aplicaciones de *edge computing* 163
6.9. *Data lake* (lagos de datos): los nuevos depósitos de almacenamiento de datos 164
6.9.1. Origen del término *data lake* 165
6.9.2. Definición de *data lake* 165
6.9.3. Propiedades, ventajas e inconvenientes de los *data lake* 166
6.9.4. Proveedores de soluciones de *data lake* 167
6.10. *Data warehouse* versus *data lake* ... 168
6.11. Los centro de datos como soporte de *cloud computing* 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. *Open Data*. Los datos abiertos al servicio del ciudadano **262**
11.5.1. Iniciativas *Open Data* 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 (*smart grids*) **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 *IESE Cities in Motion Index 2019* 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 (*deep web*) **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. *Reglamento de Protección de Datos y de Privacidad de la Unión Europea* **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 *The Mobile Economy* 2019 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. *Future of Iot* 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: *World Congress Internet of Things* (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 tecnología 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 configurarán 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 Sysetms*) 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 IoT. ¿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, autentificación 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

cibernético. Estos ataques suelen ser indetectables y tienen como objetivo modificar los datos o mensajes, irrumpiendo en la red doméstica de Internet, en el correo electrónico.

Fábricas inteligentes

La Internet industrial de las cosas (véase capítulo 5) es un entorno especial y uno de los pilares de la Industria 4.0, asistido con los sistemas ciberfísicos, que permiten a las máquinas robots humanoides y colaborativos ser controlados automáticamente, mediante algoritmos de aprendizaje automático y aprendizaje profundo, con la reducción significativa de los operadores humanos.

Mediante la adquisición masiva de datos con sensores y robots, el procesamiento y análisis de los datos, y reducción de visitas al sitio, monitorización remota, se aumenta la productividad y se reduce el mantenimiento preventivo y predictivo. El mantenimiento predictivo en la era de la Internet de las cosas se puede resumir como una metodología de mantenimiento que lleva junto la potencia del aprendizaje automático y el flujo continuo de datos de los sensores para mantener las máquinas antes de que fallen, optimizar recursos y, por consiguiente, reducir los tiempos no planificados. El mantenimiento predictivo identifica los fallos de fabricación de equipos antes que sucedan.

Redes/energía inteligente

Las fuentes de energía renovables presentan grandes oportunidades con el desarrollo de IoT. Las redes inteligentes traen consigo redes de información y generación distribuida, monitorización remota de fallos y averías. Las tecnologías de redes inteligentes contribuyen a soluciones eficaces de gestión de energía, que en muchos casos actualmente carecen de las infraestructuras existentes.

Los dispositivos de IoT de las redes inteligentes mejoran la comunicación bidireccional entre dispositivos conectados y el hardware, que puede detectar y responder a las demandas de los usuarios. Estas tecnologías significan que una red inteligente es más resiliente y menos costosa que las infraestructuras de energías actuales. Las redes inteligentes son una solución excelente para optimizar el consumo de energía.

Medio ambiente inteligente

Los avances en muchas áreas técnicas están haciendo posible el progreso de la IoT y los entornos inteligentes incluyen soluciones múltiples de comunicación para dispositivos IoT. Los entornos inteligentes recopilan, procesan y actúan con información proporcionada por una gran cantidad de aplicaciones, que mejoran los entornos ambientales.

- Detección de incendios forestales. Mediante el monitoreo de gases de combustión y condiciones preventivas de incendios se pueden definir zonas de alta contaminación.
- Polución del aire. El control de las emisiones de CO2, NO2, de las fábricas, la contaminación emitida por los automóviles y los gases tóxicos generados a las granjas. La calidad del aire es un tema muy preocupante en las ciudades y tiene un impacto directo en la salud de los ciudadanos.

- Detección temprana de terremotos. Sensores distribuidos en lugares específicos de temblores.
- Prevención de avalanchas y deslizamientos de tierra. El monitoreo de la humedad del suelo, vibraciones y densidad de la tierra para detectar patrones peligrosos en las condiciones de la tierra.
- Calidad del agua. Detección de la idoneidad del agua en los ríos y el mar para la fauna y la selección de agua para uso potable.
- Fugas de agua. Detección de presencia de líquidos fuera de tanques y variaciones de presión a lo largo de las tuberías.
- Inundaciones fluviales. Monitoreo de las variaciones del nivel de agua en ríos, embalses y presas.
- Catástrofes ambientales.
- Agricultura inteligente.

Mediante la agricultura inteligente, desarrollada con sistemas de Internet de las cosas, se pueden conseguir los siguientes objetivos:

- Optimización de la producción por rendimientos de cultivos.
- Producción más económica utilizando menos químicos, fertilizantes.
- Mejor uso de los recursos naturales: agua.
- Mejorar la conectividad del área rural.
- Analizar los datos recopilados para tomar la decisión correcta.
- Dirigir el riesgo y distribución de los fertilizantes.
- Detección de enfermedades de las hojas y automedicación.
- Control del rendimiento y suelo.
- Riego de precisión.

Carreteras inteligentes/calles/tráfico/divisor de carriles inteligentes

El divisor de carreteras se utiliza genéricamente para dividir la carretera para el tráfico en curso y entrante. Esto ayuda a mantener el flujo de tráfico. Generalmente, hay el mismo número de carriles en ambos sentidos. Por ejemplo, en las zonas industriales o comerciales, el flujo de tráfico fluye en una dirección por la mañana o por la tarde, mientras que el otro carril está vacío o menos utilizado. Existen picos de tráfico en horas de mañana o tarde, los resultados son pérdidas de tiempo para los conductores y pasajeros y una mala reutilización.

La idea es diseñar un mecanismo de división de la carretera que pueda automatizar el cambio de carril, y haya más número de carriles en una dirección de la carretera. Esta solución suele ser manual, y con cierto grado de automatismo, pero lo ideal sería que con las debidas precauciones de seguridad y con la medición del flujo de tráfico se realizaría el cambio de carril de modo automático. En España, existen carriles bus en autopistas muy automatizadas que suelen requerir, en cierta medida, la actuación del

personal de las autopistas para cambiar la dirección del carril en función del flujo de tráfico unidireccional.

Chatbots *y altavoces inteligentes*

Los *chatbots* son sistemas de inteligencia artificial que interactúan con las personas a través de interfaces de chats vía mensajería, texto o voz. Un *chatbot* puede responder a ciertas cuestiones o dar recomendaciones sobre diferentes asuntos en tiempo real. En un entorno de IoT, los *chatbots* pueden funcionar como una interfaz para detectar todos los datos y también hacerlos más accesibles. El *chatbot* de Facebook Messenger proporciona a las empresas una plataforma donde pueden integrar su propio servicio dentro de la accesibilidad de la aplicación Messenger. Los *chatbots*, como parte de los asistentes virtuales conectados a los altavoces inteligentes, pueden convertir a los objetos inteligentes en objetos conversacionales.

Wearables *(ponibles)*

Empresas multinacionales como Google, Apple, Samsung o Intel están realizando grandes inversiones en materiales ponibles (*wearables*) al estilo de Nike, Adidas. Las funcionalidades de los *wearables* pueden ser *fitness* y de seguimiento, pago sin contacto, salud en dispositivos para adultos, niños y bebés para monitorizar alertas y sueños, identificación, autentificación y localización. Los ponibles funcionan en aplicaciones que funcionan en teléfonos inteligentes y envían datos a una plataforma en la nube.

1.6. TECNOLOGÍAS Y TENDENCIAS HABILITADORAS DE LA INTERNET DE LAS COSAS

Internet de las cosas no es el resultado de una única y novedosa tecnología; al contrario, son diferentes tendencias tecnológicas que convergen y trabajan juntas para tender puentes entre el mundo físico y el mundo virtual. En el capítulo 2 haremos una descripción más detallada sobre las tecnologías tradicionales y disruptivas que han influido en su creciente y exponencial desarrollo.

Aquí, en este apartado, haremos una primera exposición de las numerosas tendencias y tecnologías tradicionales que más han influido en la segunda mitad de la segunda década del siglo XXI, y también señalaremos las nuevas tecnologías disruptivas que están incidiendo en la cuarta revolución industrial, y que están afectando de un modo muy directo a esta tecnología. Para ello, hemos recopilado las propuestas realizadas por diferentes autores de prestigio (Mohamed, 2019: 10-11; Cirani *et al.*, 2019) y organizaciones nacionales e internacionales, y hacrmos una primera reseña de sus tecnologías y tendencias facilitadoras.

- *Sensores y actuadores*. Uno de los componentes esenciales son los sensores. Básicamente, detectan los fenómenos físicos o propiedades que suceden a su alrededor y sus diferentes parámetros, de acuerdo con el propósito de uso como temperatura, presión y humedad. Un sensor detecta un parámetro físico y lo convierte en una señal adecuada para el procesamiento (óptica, eléctrica, mecánica). Los actuadores ejecutan básicamente acciones basadas en la lectura

de los sensores y las especificaciones requeridas, que difieren de una aplicación a otra. Un actuador requiere una señal de control y una fuente de energía. El coste del hardware ha disminuido considerablemente, lo que ha reducido de modo notable el precio de los sensores y demás dispositivos, y también su tamaño.

- *Infraestructura de Internet y de la Internet industrial*. Las cifras ya mencionadas de usuarios de Internet y previsiones de objetos inteligentes conectados, en secciones anteriores, constituyen un gran detonante en la expansión del IoT.
- *Difusión y despliegue del protocolo de Internet IPv6 (direccionamiento basado en IPv6)*. Otro de los grandes avances, y que ha supuesto un gran impulso para la Internet de las cosas, ha sido la implantación y desarrollo del protocolo IPv6, ya que el clásico protocolo IPv4 constituye un auténtico cuello de botella en el crecimiento de Internet. El protocolo de Internet, que permite el acceso a 2^{128} direcciones de Internet, facilita la asignación de una dirección IP a cada dispositivo de los previsibles miles de millones de objetos conectados en los próximos años.
- *RFID (Identificación por radiofrecuencia)*. Es una de las tecnologías básicas de IoT que habilita la identificación única de objetos para que, junto con el protocolo IPv6, configure el ecosistema de objetos inteligentes. El sistema RFID se compone de lectores y etiquetas RFID asociadas que emiten la identificación, la ubicación (localización) y cualquier otra información o especificaciones del objeto, al activarse por la generación de cualquier señal apropiada.
- *Reducción de costes de hardware*. Una tendencia que ha influido en la Internet de las cosas ha sido el abaratamiento producido en el hardware los últimos años: reducción de precios de los sensores, y los dispositivos RFID y NFC, especialmente, aparte de la incorporación de tecnologías Bluetooth a todo tipo de sensores y dispositivos móviles. El sistema RFID se compone de lectores y etiquetas asociadas que pueden emitir datos de identificación, ubicación y otras características del objeto.
- *La computación o informática en la nube (cloud computing, edge y fog computing)*. La nube es la infraestructura fundamental de la Internet de las cosas, junto con las plataformas en el borde (*edge computing*) y en la niebla (*fog computing*). Estas plataformas permitirán la recolección de datos de los objetos de la Internet de las cosas, el almacenamiento, procesamiento, análisis y visualización de datos, además de la comunicación entre las diferentes plataformas de la nube y las capas de la arquitectura de la Internet de las cosas (en el capítulo 6 se verá en detalle el ecosistema de *cloud computing*; y en el capítulo 4 las arquitecturas básicas y de referencia de Internet de las cosas, con sus diferentes capas).
- *Potenciación de la capacidad de procesamiento (cómputo) de los ordenadores, microprocesadores y demás componentes de los sistemas informáticos*, que se integrarán en los dispositivos, sensores, servidores y en los centros de datos.
- *Redes inalámbricas de sensores*. Al reducir el coste de los sensores y su bajo consumo han potenciado el despliegue de redes WSN (*Wireless Sensor Networks*, redes inalámbricas de sensores) que utilizan dispositivos de tamaño reducido y bajo coste, y que se pueden utilizar en aplicaciones de detección remota.

- *Redes 5G*. El despliegue de las redes móviles 5G comenzaron de modo comercial en 2019, y se espera una llegada comercial y masiva en los años 2020-21; será sin lugar a dudas el desencadenante del despliegue masivo de objetos inteligentes. En el segundo semestre de 2019, han comenzado a comercializarse teléfonos inteligentes de diferentes fabricantes con soporte de las tecnologías 5G.
- *Wifi 6*. Nuevo protocolo certificado de redes wifi y con mayor soporte para Internet de las cosas. Certificación oficial en 2019 de Wi-Fi Alliance.
- *Localizació*n (GPS).
- *Nanotecnología*. La miniaturización de los dispositivos electrónicos de todo tipo, incluidos sensores y actuadores, y chips de microprocesadores, está contribuyendo de un modo muy considerable al despliegue de sensores inteligentes y de sistemas embebidos en dispositivos inteligentes.
- *Sistemas embebidos de baja potencia y bajo consumo*. La nanotecnología, junto con el despliegue de redes 5G y redes de comunicaciones específicas de Internet de las cosas, potenciarán los sistemas embebidos en todo tipo de dispositivos.
- *Tecnologías wearables (ponibles)*. Los dispositivos inteligentes integrados en la ropa o en el cuerpo de los usuarios permitirán una conexión continua y en tiempo real a la Internet de las personas.
- *Big Data y Analítica de Big Data (Data Analytics)*. La explosión de los grandes volúmenes de datos, y de las técnicas y métodos de análisis de grandes datos, permiten el almacenamiento, procesamiento, análisis y visualización y presentación de resultados de los miles de millones de objetos inteligentes.
- *Inteligencia artificial*. La expansión del aprendizaje automático y el aprendizaje profundo, a través de algoritmos avanzados, y el uso de lenguajes de procesamiento natural y redes neuronales artificiales, están facilitando la conversión en inteligentes de todo tipo de dispositivos.
- *Redes inteligentes (smart grids)*. Existe una creciente proliferación de redes inteligentes de todo tipo, apoyándose en muchas de las tecnologías citadas anteriormente, en especial, comunicaciones, Big Data e inteligencia artificial.
- *IPv6: el desarrollo de la Internet de las cosas*. A través de Internet, los ordenadores y equipos se conectan entre sí mediante sus respectivas direcciones IP. Bajo la versión IPv4 utilizada en la actualidad (aunque está siendo sustituida por los nuevos protocolos IPv6), solo hay cabida para unos 4300 millones de direcciones, y ha constituido un cuello de botella práctico para ampliar el número de direcciones de Internet. Teniendo en cuenta que, con los datos citados de la UIT, los usuarios conectados a Internet son alrededor de la mitad de las personas que habitan el mundo, no queda mucho margen para seguir conectando todos los objetos de la Internet de las cosas. Este cuello de botella en nuestras infraestructuras tiene solución en el último despliegue del protocolo (IPv6), que permitirá alojar centenares o miles de millones de direcciones IP (2125 direcciones). Es decir: “Más que suficiente para todo lo que hay en el planeta: usuarios físicos, sensores y dispositivos”.

1.6.1. TECNOLOGÍAS DE CARGA DE BATERÍAS

Mohamed (2019: 12) añade una tendencia tecnológica a considerar, de notable importancia desde el punto de vista práctico, y que no suele ser tratada en libros y manuales de Internet de las cosas, las *tecnologías de carga*.

> *Las tecnologías de carga inalámbrica soportan el requerimiento de la energía de los dispositivos y componentes de Internet de las cosas. Para soportar los requerimientos de los dispositivos y componentes de IoT, las tecnologías de carga inalámbrica se están volviendo importantes y su uso cada día es más creciente. La carga inductiva utiliza campos electromagnéticos para transferir energía entre dispositivos, como teléfonos inteligentes y una plataforma o almohadilla de carga, que están en contacto entre sí, mientras que la carga de resonancia utiliza campos magnéticos para transferir la energía entre los dispositivos. Además de eliminar la necesidad de cables de alimentación, ambas tecnologías de carga permiten construir dispositivos de Internet de las cosas sin necesidad de enchufes para los cables de carga, haciéndolos menos susceptibles de daños ante la exposición al agua y otros líquidos.*

1.6.2. OTRAS TECNOLOGÍAS DISRUPTIVAS DE IMPACTO EN LA INTERNET DE LAS COSAS

Además de estas tecnologías anteriores, la Internet de las cosas se ha visto influenciada, de un modo muy notable, por las tecnologías disruptivas, que han adquirido gran popularidad y producido gran impacto:

- *Blockchain* (cadenas de bloques). De gran influencia en la seguridad de las coubicaciones y en los sistemas de bases de datos distribuidos
- Experiencias inmersivas: realidad virtual, realidad aumentada y realidad mixta
- Robots autónomos colaborativos y Robótica, en general (RPA)
- Gemelos digitales (*digital twins*)
- Drones
- *Wearables* (dispositivos ponibles)
- Sensores como servicio

1.6.3. CASO DE ESTUDIO: TECNOLOGÍAS HABILITADORAS DIGITALES (THD)

La Secretaría de Estado para el Avance Digital del Gobierno de España publicó, en abril de 2019, una convocatoria de ayudas/subvenciones para proyectos de alto impacto y capacidad de disrupción, estratégica para el desarrollo y la transformación digital de la economía y la sociedad. El plazo de solicitudes finalizó el 20 de mayo de 2019. La cuantía total de las ayudas para 2019 fue de 9 millones de euros (más de 11 millones de dólares), lo que demuestra la importancia dada por el Gobierno Español a las tecnologías habilitadoras de la nueva sociedad. Según la convocatoria, las

organizaciones y empresas que desearan concursar a esta convocatoria debían de presentar proyectos en las siguientes THD (Tecnologías Habilitadoras Digitales):

- Internet de las cosas y las futuras redes de comunicación 5G
- Tecnologías para el tratamiento de datos masivos y bases de datos distribuidas (*blockchain*)
- Supercomputación (HPC)
- Computación o informática difusa y en la nube
- Procesamiento del lenguaje natural
- Robótica
- Inteligencia artificial
- Realidad virtual
- Ciberseguridad
- Biometría y la identidad digital
- Micro/nanoelectrónica

1.7. INTERNET DE TODO Y LAS CUATRO FUENTES DE GENERACIÓN DE DATOS

Cisco dio un paso adelante en el concepto de Internet de las cosas y, en 2012, se adelantó y lanzó su término Internet de todo —concepto que ha tenido gran aceptación y que refleja la realidad actual y futura—, y para ello dio su propia definición: "Asocia juntos a las personas, procesos, datos y cosas para hacer las conexiones en red más relevantes y valiosas que nunca antes —convirtiendo la información en acciones que crean nuevas capacidades, experiencias más ricas y oportunidades económicas sin precedentes para negocios, empresas, personas y países—". Para entender mejor esta definición, Cisco explica detenidamente sus reflexiones sobre cuatro componentes:

- Personas
- Datos
- Cosas
- Procesos

El gigante tecnológico Cisco prevé que en 2020 habrá más de 50.000 millones de dispositivos en todo el mundo conectados a través de la Internet de todo. Considera que "esta tecnología creará una increíble cantidad de datos y posibilidades de innovación que revolucionarán el panorama laboral". La convergencia entre las redes de personas, procesos, datos y objetos y el IoT se está moviendo hacia la Internet de todo, que es una Internet multidimensional que combina los campos de IoT y Big Data.

Personas

La mayoría se conectan hoy día a Internet, 3000 millones en 2015, 5000 millones para 2020, a través de dispositivos móviles y fijos, y redes sociales. Gartner y Cisco consideran que las personas se convertirán en nodos de Internet con información estática y un sistema de emisión de información constante. A medida que evoluciona la Internet de las cosas nos conectamos de nuevas y valiosas maneras, como a través de los dispositivos *wearable*s, los asistentes virtuales en cualquier tipo de dispositivos.

Datos

Es la información generada por las personas y las cosas. Actualmente, los dispositivos capturan la información y la envían por Internet a una fuente central, donde es analizada y procesada. Los datos pueden estar centralizados o distribuidos. Cisco considera que con la Internet de todo más que generar datos duros ("en bruto") se enviará información relevante a las máquinas, ordenadores y personas, para la evaluación y toma de decisiones de una forma más rápida e inteligente. Estos datos, con el análisis correcto, entregan información útil a las personas y las máquinas; se toman mejores decisiones y obtienen mejores resultados.

Cosas

Todo tipo de objetos físicos, sensores, dispositivos o elementos de la empresa que están conectados a Internet, y, a su vez, entre ellos. Los dispositivos están detectando y recolectando más datos, llegando a ser conscientes del contexto, y proporcionando más información experiencial tanto a las personas como a las máquinas.

Procesos

Los procesos ocurren entre todos los pilares de la Internet de las cosas. Con los procesos correctos, las conexiones se hacen más valiosas y proporcionan la información correcta, entregada a la persona adecuada, en el momento oportuno y de la manera más relevante.

En octubre de 2014, Cisco anunció el lanzamiento del primer curso global "Introducción a la Internet de todo", a través de la Cisco Networking Academy, y era el primero de una serie de cursos dirigidos a cualquier persona que quisiera aprovechar las oportunidades que brinda la interconexión de sus cuatro pilares fundamentales (personas, procesos, datos y cosas). Coincidiendo con esa presentación, anunció sus previsiones de que IoT podrá generar hasta 19 billones de dólares en valor económico para la industria de los sectores público y privado en todo el mundo para 2022.

1.8. LA CAPA FÍSICA DE LA RED (SENSORES, ACTUADORES, CONTROLADORES)

La espina dorsal de la red son los objetos conectados convertidos en objetos inteligentes. Los objetos conectados deben desempeñar un rol para sacar rédito a su ubicuidad y poder ser considerados objetos inteligentes. Son necesarios tres componentes: