

# ÍNDICE

---

<b>PREFACIO</b> .....	<b>XV</b>
<b>CAPÍTULO 1. EL ECOSISTEMA DEL INTERNET DE LAS COSAS</b> .....	<b>1</b>
INTRODUCCIÓN .....	1
IOT: UNA VISIÓN GENERAL .....	5
Conceptos .....	6
Tendencias y predicciones .....	9
Elementos .....	10
Identificación por Radio-Frecuencia .....	12
Redes de sensores inalámbricos .....	13
Middleware .....	15
Cloud Computing .....	19
Hardware IoT .....	23
ARQUITECTURAS IOT .....	28
Arquitectura de referencia .....	29
Arquitectura orientada a servicios .....	30
PRINCIPALES ESTÁNDARES Y TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA .....	32

Estándares para IoT.....	32
Estándar IEEE 802.11 .....	32
Estándar IEEE 802.15.4 .....	34
Estándar IEEE 802.15.6 .....	35
Bluetooth .....	37
LoRaWAN .....	38
SigFox.....	39
Estándares 2G, 3G, 4G y 5G .....	41
Tecnologías para IoT .....	42
Bluetooth Low Energy.....	42
ZigBee .....	43
WIFI.....	43
Z-Wave.....	44
6LoWPAN .....	45
SEGURIDAD .....	46
Requisitos de seguridad .....	46
Desafíos de seguridad .....	48
Amenazas y ataques.....	49
APLICACIONES.....	50
Personales.....	50
Smart Watch .....	51
Smart TV .....	51
Hogar.....	52
Automatización del hogar .....	52
Monitoreo de hogar .....	53
Empresa e Industria .....	53
Monitoreo ambiental.....	53
Monitoreo de salud.....	54
Servicios (industrial & empresarial) .....	56
Transporte .....	56
Smart City.....	57
CONCLUSIONES .....	58
REFERENCIAS.....	59

**CAPÍTULO 2. PLACAS ARDUINO: FAMILIA MKR, PORTENTA Y NANO IOT ..... 63**

INTRODUCCIÓN.....	63
CONCEPTO DE HARDWARE LIBRE .....	64
ARDUINO EN IOT .....	66
Concepto de Arduino en IoT .....	67
Evolución de Arduino hacia IoT.....	68
Dispositivos Arduino de bajo y medio nivel (Maker).....	69

Dispositivos Arduino de bajo nivel (Vestibles) .....	70
Dispositivos Arduino de bajo nivel (Educación) .....	71
Dispositivos Arduino de alto nivel (Industrial) .....	71
Dispositivos Arduino de alto nivel (IoT) .....	72
<b>HARDWARE ARDUINO IOT .....</b>	<b>73</b>
Familia MKR .....	73
Arduino MKR1000.....	74
Arduino MKR WIFI 1010.....	77
Arduino MKR FOX 1200 .....	80
Arduino MKR WAN 1310.....	83
Arduino MKR GSM 1400 .....	86
Arduino MKR NB 1500 .....	89
Arduino MKR Vidor 4000 .....	92
Familia Portenta.....	95
Arduino Portenta H7.....	96
Familia Nano IoT .....	100
Arduino Nano 33 IoT .....	100
Arduino Nano 33 BLE Sense .....	103
<b>APLICACIONES.....</b>	<b>107</b>
Requerimientos de Arduino en IoT .....	107
Placas Arduino requeridas .....	107
Entornos de desarrollo de Arduino requeridos.....	108
Configuración de las placas Arduino .....	110
Configuración del IDE de Arduino .....	110
Cargar el primer sketch en Arduino .....	112
Instalar bibliotecas en el directorio de Arduino .....	113
Aplicación 1: WIFI Ping.....	114
Requerimientos de hardware .....	114
Requerimientos de software.....	114
Diseño electrónico .....	115
Descripción general del código fuente.....	115
Resultados finales .....	119
Aplicación 2: Baliza BLE.....	120
Requerimientos de hardware .....	120
Requerimientos de software.....	121
Diseño electrónico .....	121
Descripción general del código fuente.....	121
Resultados finales .....	125
Aplicación 3: Conexión a una Red LoRa .....	127
Requerimientos de hardware .....	128
Requerimientos de software.....	128

Diseño electrónico .....	128
Descripción general del código fuente.....	129
Resultados finales .....	133
CONCLUSIONES .....	136
REFERENCIAS.....	137
<b>CAPÍTULO 3. CONECTIVIDAD IOT.....</b>	<b>139</b>
INTRODUCCIÓN.....	139
ESTÁNDARES DE REDES (MODELOS OSI Y TCP/IP).....	140
Capa Física y Acceso a la Red .....	141
Capa de Internet .....	142
Capa de Transporte.....	143
Capa de Aplicación .....	144
PROTOCOLOS DE RED DE COMUNICACIÓN.....	146
Tecnologías de red IoT de Capa Física y Acceso a la Red.....	147
Redes alámbricas IoT .....	148
Redes inalámbricas IoT .....	164
Tecnologías de red IoT de Capa de Internet.....	175
ZigBee .....	176
IPv6 .....	180
Tecnologías de red IoT de Capa de Transporte .....	184
UDP .....	184
TCP .....	186
Tecnologías de red IoT de Capa de Aplicación .....	190
MQTT .....	190
AMQP.....	194
XMPP.....	198
CoAP.....	201
HTTP.....	203
CONEXIÓN A REDES INALÁMBRICAS DE IOT .....	206
Características de redes inalámbricas .....	206
Rango de cobertura .....	207
Banda de operación .....	209
Ancho de banda .....	209
Consumo de Energía .....	210
Conectividad Intermitente .....	210
Interoperabilidad .....	211
Seguridad .....	211
Redes LPWAN.....	211
LoRaWAN .....	213
NB-IoT .....	215

Coexistencia en redes WIFI, BLE y ZigBee .....	217
CONEXIÓN A LA NUBE.....	219
Acceso IoT (Directo) .....	219
Acceso IoT (Gateway).....	220
CONEXIÓN M2M .....	222
APLICACIONES.....	223
Aplicación 1: Servidor HTTP (conexión WIFI) .....	223
Requerimientos de hardware .....	223
Requerimientos de Software .....	224
Diseño electrónico .....	224
Descripción general del código fuente.....	224
Resultados finales .....	228
Aplicación 2: Servidor HTTP para el Control de un LED.....	229
Requerimientos de hardware .....	230
Requerimientos de software.....	230
Diseño electrónico .....	230
Descripción general del código fuente.....	230
Resultados finales .....	235
Aplicación 3: Callback en un Cliente MQTT.....	237
Requerimientos de hardware .....	237
Requerimientos de software.....	238
Diseño electrónico .....	238
Descripción general del código fuente.....	238
Resultados finales .....	242
Aplicación 4: Sensores en Clientes MQTT .....	242
Requerimientos de hardware .....	243
Requerimientos de software.....	243
Diseño electrónico .....	243
Descripción general del código fuente.....	243
Resultados finales .....	248
Aplicación 5: Cliente CoAP para la Transmisión de Datos .....	251
Requerimientos de hardware .....	251
Requerimientos de software.....	252
Diseño electrónico .....	252
Descripción general del código fuente.....	252
Resultados finales .....	258
Aplicación 6: Control de LED y Sensores en Clientes MQTT.....	260
Requerimientos de hardware .....	260
Requerimientos de software.....	261
Diseño electrónico .....	261
Descripción general del código fuente.....	261

Resultados finales .....	266
Aplicación 7: Conexión M2M para Dispositivos BLE.....	269
Requerimientos de hardware .....	269
Requerimientos de software.....	270
Diseño electrónico .....	270
Descripción general del código fuente.....	271
Resultados Finales.....	279
Aplicación 8: Servidor Serial (Conexión UART).....	279
Requerimientos de hardware .....	280
Requerimientos de software.....	280
Diseño electrónico .....	281
Descripción general del código fuente.....	281
Resultados finales .....	287
CONCLUSIONES .....	287
REFERENCIAS.....	288
<b>CAPÍTULO 4. ARDUINO PARA GESTIONAR SERVICIOS DE IOT EN LA NUBE .....</b>	<b>291</b>
INTRODUCCIÓN.....	291
INTERFAZ DE PROGRAMACIÓN DE APLICACIONES.....	292
ARQUITECTURA IOT PARA ARDUINO .....	293
Requisitos de una arquitectura IoT .....	294
Conectividad y comunicación .....	294
Gestión de dispositivos .....	295
Recolección y análisis de datos .....	295
Escalabilidad .....	296
Flexibilidad .....	296
Interoperabilidad .....	296
Seguridad .....	296
Arquitectura .....	297
Capa del Dispositivo .....	298
Capa de Comunicación.....	299
Capa de Agregación .....	300
Capa de Analítica y Procesamiento de Eventos .....	301
Capa de Comunicación Usuario/Externo .....	301
Capa de Gestión de Dispositivos .....	302
Capa de Gestión de Identidades y Accesos .....	303
PLATAFORMAS IOT DE CÓDIGO ABIERTO .....	304
Arduino IoT Cloud .....	305
Thingspeak .....	308
Temboo .....	309
Node-RED.....	310

Kaa IoT .....	311
Thingier.io .....	312
Thethings.io .....	313
Adafruit IO .....	314
<b>GESTIÓN DE SERVICIOS EN IOT .....</b>	<b>316</b>
Requisitos de gestión de servicios en IoT.....	317
Interoperabilidad .....	318
Escalabilidad .....	318
Conectividad .....	318
Calidad de Servicio .....	318
Acuerdos de gestión de servicios.....	319
Monitorización y visualización .....	319
Big Data.....	319
Seguridad y privacidad.....	320
Clasificación de gestión de servicios .....	320
Gestión de servicios en Arduino IoT Cloud .....	322
Conexión, gestion y monitorización .....	323
Despliegue de Servicios.....	324
Seguridad.....	325
<b>APLICACIONES.....</b>	<b>325</b>
Configuraciones en la plataforma Arduino IoT Cloud .....	326
Aplicación 1: Sensores en Arduino IoT Cloud.....	330
Requerimientos de hardware .....	331
Requerimientos de software.....	331
Diseño electrónico .....	331
Descripción general del código fuente.....	332
Resultados Finales.....	337
Aplicación 2: LEDs en Arduino IoT Cloud y Amazon Alexa .....	338
Requerimientos de hardware .....	338
Requerimientos de software.....	339
Diseño electrónico .....	339
Descripción general del código fuente.....	340
Resultados finales .....	345
Aplicación 3: Sensores en Arduino IoT Cloud y Google Sheet.....	348
Requerimientos de hardware .....	349
Requerimientos de software.....	349
Diseño electrónico .....	349
Descripción general del código fuente.....	350
Resultados finales .....	360
Aplicación 4: Sensores en Google Sheets.....	360
Requerimientos de hardware .....	361

Requerimientos de software.....	361
Diseño electrónico .....	362
Descripción general del código fuente.....	362
Resultados finales .....	371
Aplicación 5: Integración Arduino con Adafruit IO.....	372
Requerimientos de hardware .....	373
Requerimientos de software.....	373
Diseño electrónico .....	373
Descripción general del código fuente.....	374
Resultados finales .....	382
Aplicación 6: Integración Arduino con Kaa IoT.....	385
Requerimientos de hardware .....	385
Requerimientos de software.....	386
Diseño electrónico .....	386
Descripción general del código fuente.....	387
Resultados finales .....	398
Aplicación 7: Conexión AWS IoT con seguridad SST/TLS.....	404
Requerimientos de hardware .....	405
Requerimientos de software.....	406
Diseño electrónico .....	406
Descripción general del código fuente.....	406
Resultados finales .....	413
CONCLUSIONES .....	421
REFERENCIAS.....	421
<b>CAPÍTULO 5. ANÁLISIS Y GESTIÓN DE DATOS IOT .....</b>	<b>423</b>
INTRODUCCIÓN.....	423
ANÁLISIS DE DATOS IOT Y BIG DATA .....	424
Importancia del análisis de Big Data .....	425
Análisis de datos en Cloud Computing.....	425
Análisis de datos en Fog Computing .....	428
GESTIÓN DE DATOS EN DISPOSITIVOS IOT.....	432
Generación de datos .....	433
Adquisición de datos.....	435
Validación de datos.....	435
Almacenamiento de datos .....	437
Procesamiento de datos .....	438
Retención de datos .....	439
Análisis de datos .....	439
GESTIÓN DE ACCIONES Y MONITORIZACIÓN .....	440
SISTEMAS OPERATIVOS EMBEBIDOS PARA IOT.....	441



Riot.....	442
Contiki.....	443
FreeRTOS.....	443
APLICACIONES.....	445
Aplicación 1: Visualización de Datos en ThingSpeak.....	445
Requerimientos de hardware.....	446
Requerimientos de software.....	446
Diseño electrónico.....	446
Descripción general del código fuente.....	447
Resultados finales.....	453
Aplicación 2: Streaming, Análisis y Visualización de Datos en ThingSpeak.....	455
Requerimientos de hardware.....	457
Requerimientos de software.....	457
Diseño electrónico.....	457
Descripción general del código fuente.....	458
Resultados finales.....	472
Aplicación 3: Gestión de Datos en Edge Computing.....	476
Requerimientos de hardware.....	478
Requerimientos de software.....	478
Diseño electrónico.....	478
Descripción general del código fuente.....	479
Resultados finales.....	492
Aplicación 4: Gestión de Datos en FreeRTOS-Arduino IoT.....	496
Requerimientos de hardware.....	497
Requerimientos de software.....	497
Diseño electrónico.....	498
Descripción general del código fuente.....	498
Resultados finales.....	505
Aplicación 5: Análisis de Datos en AWS IoT Analytics.....	506
Requerimientos de hardware.....	509
Requerimientos de software.....	509
Diseño electrónico.....	510
Descripción general del código fuente.....	510
Resultados finales.....	524
CONCLUSIONES.....	534
REFERENCIAS.....	535
<b>CAPÍTULO 6. DISPOSITIVOS VESTIBLES BASADOS EN ARDUINO PARA IOT.....</b>	<b>537</b>
INTRODUCCIÓN.....	537
REDES INALÁMBRICAS DE ÁREA CORPORAL.....	538
Aplicaciones WBAN.....	539

Aplicaciones médicas .....	540
Aplicaciones no médicas .....	542
DISPOSITIVOS VESTIBLES.....	543
Dispositivos para aplicaciones médicas .....	545
Dispositivos para la asistencia personalizada.....	545
Dispositivos para el tratamiento de enfermedades .....	546
Dispositivos para aplicaciones no médicas .....	548
Dispositivos para la localización y orientación .....	548
Dispositivos para la interacción social.....	550
DISPOSITIVOS VESTIBLES IOT EN ARDUINO .....	550
Sensores.....	551
Actuadores.....	556
Arduino y IoT en la salud humana.....	557
APLICACIONES.....	559
Aplicación 1: Visualización del Ritmo Cardíaco en un Dispositivo Móvil.....	559
Requerimientos de hardware .....	560
Requerimientos de software.....	560
Diseño electrónico .....	561
Descripción general del código fuente.....	561
Resultados finales .....	566
Aplicación 2: Visualización de la Frecuencia Respiratoria en nRF Cloud .....	570
Requerimientos de hardware .....	570
Requerimientos de software.....	571
Diseño electrónico .....	571
Descripción general del código fuente.....	572
Resultados finales .....	578
CONCLUSIONES .....	582
REFERENCIAS.....	583
<b>ANEXOS .....</b>	<b>585</b>
A: Unidades de Medidas de Almacenamiento .....	585
B: Lista de Número de Puertos TCP y UDP .....	586
C: Frecuencia y Anchos de Banda para WBAN .....	591
D: Códigos de Solicitud/Respuesta y los Tipos de Opciones de CoAP .....	591
E: Frecuencia LoRaWAN para América y Europa.....	598
<b>ÍNDICE ANALÍTICO.....</b>	<b>601</b>

# PREFACIO

---

Los avances tecnológicos de la actualidad han permitido visualizar desde otra perspectiva un mundo completamente interconectado para todos los sectores domésticos, comerciales e industriales. En los últimos años, ha sido notorio que las *Tecnologías de la Información y Comunicación* (TIC) han tenido una evolución significativa en términos de protocolos y estándares en redes, computación, software y miniaturización de los dispositivos electrónicos para dar paso a la nueva era de objetos y máquinas virtuales interconectados como paradigma informático denominado *Internet de las Cosas* (IoT). El IoT permite integrar “cosas” inteligentes desde donde sea y cuando sea para que intercambien información, de tal modo que les permite interactuar entre sí y con el entorno que les rodea para que tomen decisiones de forma autónoma. Desde el nacimiento de IoT, se ha venido especulando el impacto de IoT, de tal manera que muchos artículos y anuncios han pronosticado que existirán aproximadamente 41.6 mil millones de “cosas” interconectadas para 2025 y que ese número continuará creciendo. En consecuencia, este aumento pone en evidencia el enfrentamiento de nuevos retos que involucran a sectores que complementan a IoT, como el procesamiento y almacenamiento de datos masivos (Big Data), tecnologías de comunicación, la seguridad informática, la computación centralizada y distribuida, y otras más. Esto evidentemente muestra la importancia de ser estudiadas como modelos de motivación para este libro como complementos de partida para entender la inteligencia de las “cosas” virtualizadas en Internet. Sin embargo, existen múltiples tecnologías tradicionales y emergentes que están a nuestra disposición para mostrarnos enfoques diferentes para la

implementación de IoT en todas las áreas de aplicación; pero pocas son las plataformas que integran tecnologías para brindar servicios basados en redes de un modo totalmente democratizado y de bajo costo.

Por lo tanto, una de las tecnologías más sobresalientes de la actualidad que apuesta directamente por IoT bajo el concepto de “código abierto” es Arduino. El entorno Arduino permite la integración de dispositivos IoT basados en microcontroladores de bajo costo; suficientemente potentes para procesamiento y almacenamiento de datos; y con capacidades de conexión y transmisión de datos con múltiples tecnologías de comunicación para la gestión, control, monitorización y visualización de información desde una plataforma web (propia y ajenas).

Es por esta razón que este libro está centrado precisamente en esta plataforma de desarrollo en hardware y software como nuevo concepto denominado “Arduino en IoT” para la integración de dispositivos en Internet bajo el paradigma de IoT con el soporte de tecnologías y herramientas poderosas tanto propias como semejantes. El aporte de este libro es una introducción a la analogía de tecnologías asociadas al ecosistema de IoT con análisis completo mediante términos, conceptos, tablas, taxonomías y figuras dependientemente del entorno Arduino e independientemente del área de aplicación. En la literatura, la tecnología de Arduino viene perfectamente descrita y detallada para ser implementada en ambientes de IoT bajo un modelo arquitectónico orientado a las “cosas” con el propio soporte del software y hardware IoT de Arduino; plataforma Arduino IoT Cloud y plataformas asociadas; protocolos de comunicación alojados en las capas de los modelos de referencia para los tecnologías de red; entre otros más, con el objetivo de gestionar datos y servicios de las “cosas” interconectadas en la infraestructura de telecomunicaciones mundial. Además, este libro está centralizado específicamente en una sola área de aplicación denominada salud electrónica, ya que es considerado un sector a explorar por parte de la “tecnología IoT” y que Arduino debe estar presente para abrir nuevas puertas hacia el desarrollo de aplicaciones más focalizadas al bienestar humano bajo el concepto de código abierto.

## **Organización del libro**

---

Este libro está organizado en 7 capítulos escritos de manera simple para que el lector que desee trabajar en Arduino pueda aplicar los conceptos de IoT en la plataforma de Arduino y asociados de código abierto a través de las placas de desarrollo IoT pertenecientes a la familia MKR, Portenta y Nano IoT. Este libro cubre conceptos y tecnologías habilitadoras para empezar a desarrollar proyectos potenciales. Todos los capítulos tienen grado de introducción hacia IoT con tecnologías paralelas asociadas, de tal modo que ayudan a complementar las

aplicaciones orientadas a la gestión de servicios y datos en cualquier sector. Además, cada capítulo está organizado con ejemplos aplicativos correspondientes a la temática tratada y con sus respectivas referencias, a fin de que, ayuden al lector a navegar y profundizar sobre conocimientos de interés.

- El *Capítulo 1* titulado “El Ecosistema del Internet de las Cosas” describe una introducción a IoT, que proporciona la evolución y comprensión de las “cosas” interconectadas a Internet, tendencias y predicciones del futuro, y elementos tecnológicos asociados a IoT; arquitecturas básicas de referencia; estándares y tecnologías de comunicación inalámbricas para las redes de datos; y seguridad IoT. En este capítulo, también se describen algunas áreas de aplicación clasificadas en cuatro sectores estratégicos.
- El *Capítulo 2* titulado “Placas Arduino: Familia MKR, Portenta y Nano IoT” describe una visión clara del entorno Arduino hacia IoT con un paradigma focalizado en la interconexión de las “cosas” y la evolución de Arduino como una alternativa sólida y adecuada para IoT bajo el término “*Open Source*”. Además, se describen las características de las placas Arduino correspondientes al hardware de la familia MKR, Portenta y Nano IoT para posteriormente proporcionar una guía introductoria para la correcta utilización de ellas. Las aplicaciones de este capítulo son ejemplos de introducción a las placas de Arduino.
- El *Capítulo 3* titulado “Conectividad IoT” proporciona una explicación clara y profunda de las tecnologías en redes de comunicación involucradas en cada capa de los modelos de interconexión de Sistemas Abiertos (OSI) y Protocolo de Control de Transmisión/Protocolo de Internet (TCP/IP). En este capítulo, también se describen las características de las redes inalámbricas orientadas específicamente a IoT de largo alcance y convergencia de tecnologías inalámbricas tradicionales para mejor orientación en el despliegue de aplicaciones IoT; métodos de acceso IoT directa o indirectamente a la nube y conexión Máquina a Máquina (M2M). Las aplicaciones de este capítulo son algunos ejemplos de implementación de los protocolos en redes de comunicación para las conexiones a la nube (HTTP, MQTT y CoAP) y M2M.
- El *Capítulo 4* titulado “Arduino para Gestionar Servicios de IoT en la Nube” está precisamente enfocado en el modelo arquitectónico referencial de IoT bajo los estándares y protocolos adoptados por Arduino descritos en este libro como bases fundamentales para la implementación de proyectos IoT sometidos a un conjunto indispensable de requisitos. Además, describe la plataforma Arduino IoT Cloud con una serie de plataformas paralelas de IoT para la virtualización de las “cosas” y poder brindar una orientación clara hacia la gestión de servicios en Internet. La integración de múltiples plataformas IoT está cubierta en las aplicaciones del presente capítulo para la gestión de servicios correspondientes a las interfaces sensor/nube y M2M.

- El *Capítulo 5* titulado “Análisis y Gestión de Datos IoT” introduce la importancia del análisis de datos provenientes de dispositivos IoT para una gestión inteligente bajo tecnologías involucradas de “*Big Data*”, “*Cloud Computing*” y “*Fog Computing*”. En este capítulo, también se describen las fases de gestión de datos correspondientes a dispositivos desplegados en sistemas IoT o M2M. Además, se introducen algunos Sistemas Operativos (OS) embebidos para IoT adoptados por Arduino para gestionar dispositivos de la forma más eficiente posible. Las aplicaciones propuestas en este capítulo son una pauta con enfoque introductorio para implementar sistemas IoT que gestionan grandes cantidades de datos.
- El *Capítulo 6* titulado “Dispositivos Vestibles Basados en Arduino para IoT” está centrado directamente a *Sensores o Dispositivos Vestibles (WS/WD)* basados en Arduino para aplicaciones médicas y no médicas en *Redes Inalámbricas de Área Corporal (WBAN)* con capacidades de IoT (WBAN-IoT). Este capítulo proporciona un enfoque diferente a otros autores, ya que propone aplicaciones orientadas a la salud humana bajo el apoyo de las TIC para ser nombrados como “*eHealth*, *mHealth* o Telemedicina” basadas en tecnologías de código abierto.

## ¿Qué se necesita para este libro?

---

Las aplicaciones IoT propuestas en este libro requieren hardware y software basados específicamente en las tecnologías de las placas MKR, Portenta y Nano IoT; y protocolos en red de comunicación. Sin embargo, tratamos de resaltar los requerimientos mínimos posibles.

## REQUERIMIENTOS DE HARDWARE

---

Cada capítulo propone aplicaciones distintas, por lo que es recomendable leer cada capítulo para poder utilizar los componentes adecuados en cada aplicación IoT.

- Arduino MKR WIFI 1010.
- Arduino MKR WAN 1310.
- Arduino Nano 33 IoT.
- Arduino Nano 33 BLE Sense.
- Teléfono móvil (con Sistema Operativo Android o iOS).
- Antena con conector micro UFL.
- Cables micro USB tipo B.
- Router o Módem.
- Breadboard.
- Módulo de temperatura y humedad – DHT (versiones 11 o 22).

- Foto-resistor o LDR.
- Sensor magnético – 49E.
- Sensor de ElectroCardioGramma (ECG) – AD8232.
- Electrodo para ElectroCardioGramma.
- Buzzer (activo o positivo).
- LEDs.
- Resistores.
- Cables (combinados entre hembra y macho).

## REQUERIMIENTOS DE SOFTWARE

- Arduino IDE (disponible en: <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>).
- Arduino Web Editor (disponible en: <https://create.arduino.cc/>).
- Plataforma Arduino IoT Cloud (disponible en: <https://create.arduino.cc/>).
- The Things Network (disponible en: <https://www.thethingsnetwork.org/>).
- Plataforma shiftr (disponible en: <https://shiftr.io/>).
- Plataforma wia (disponible en: <https://www.wia.io/>).
- Plataforma HiveMQ (disponible en: <https://www.hivemq.com/>).
- Plataforma Pushingbox (Disponible en: <https://www.pushingbox.com/>).
- Plataforma Adafruit IO (Disponible en: <https://io.adafruit.com/>).
- Plataforma Kaa IoT (Disponible en: <https://www.kaaproject.org/free-trial>).
- Plataforma ThingSpeak (Disponible en: <https://thingspeak.com/>).
- Matlab integrado a la plataforma ThingSpeak.
- Plataforma nRF Cloud (Disponible en: <https://nrfcloud.com/>).
- Servicios de AWS (Disponible en: <https://aws.amazon.com/es/>).
- Servicios de Google Colab (Disponible en: <https://colab.research.google.com/>).
- Software *MQTTBox* (Disponible en: <http://workswithweb.com/mqttbox.html>).
- Aplicación nRF Connect (versiones para Android o iOS).
- Aplicación MQTT Dash (versiones para Android).
- Aplicación Amazon Alexa (versiones para Android o iOS).
- Aplicación nRF Toolbox (versiones para Android o iOS).
- Aplicación nRF Gateway (versiones para Android o iOS).
- Google Sheets Script (Disponible en cada Hoja de Cálculo de Google).
- Servidor HTTP (Este libro crea comandos para construir la estructura HTTP en los códigos de programación).

## ¿Para quién es este libro?

Este libro está orientado a estudiantes de pregrado, posgrado y aficionados que desean empezar a enrolarse en el mundo de IoT; pero especialmente a profesionales

y desarrolladores de TIC interesados en conceptos de IoT y tecnologías de código abierto. Para el desarrollo de proyectos, se requieren conocimientos previos de Arduino (hardware y software) y experiencia en lenguajes de programación (C/C++, C#, Python y Java); además, conocimientos básicos en componentes de hardware y software para implementar sistemas IoT. Cada aplicación y proyecto es simple y legible para ayudar a los novatos a comprender la tecnología IoT y tecnologías paralelas, a través de gráficos, figuras detalladas, y códigos consistentes.

Por otra parte, y como complemento están los códigos completos (en extensión *.ino*, *.h*, *.ipynb*, *.py*, etc.), los diseños electrónicos en *Fritzing* y las figuras de las aplicaciones (esquemas, configuraciones y resultados) que se muestran en el libro en la web de la editorial; por tanto, si es usted comprador del mismo podrá acceder gratuitamente a ellos, visitando la página individual del libro en: <https://rclibros.es>.

Por lo tanto, ¡bienvenidos al fascinante mundo de IoT en Arduino!

## Convenciones utilizadas en este libro

---

Las siguientes convenciones tipográficas se utilizan en este libro:

- *Cursiva*

Indica citas textuales, nuevos términos, nombres propios, URL, direcciones de correo electrónico, nombres de archivo y extensiones de archivo.

- Subrayado

Se utiliza para indicar figuras, tablas y lista de códigos dentro de los párrafos.

- `courier new`

Indica líneas de programación o código, así como dentro de los párrafos para referirse a elementos de programación como nombres de variables, funciones, instrucciones, tipos de datos, declaraciones, bibliotecas y palabras clave.

- **`courier new negrita`**

Muestra comandos u otro texto que el usuario debe escribir literalmente.

- *Palatino Linotype cursiva*

Se utiliza para definir literalmente un término o nombre, tanto el elemento de una tabla como el de una figura o gráfico.



## ACRÓNIMOS Y ABREVIACIONES

2G	Segunda Generación
3G	Tercera Generación
4G	Cuarta Generación
5G	Quinta Generación
ABP	Activación por Personalización
ACK	Acuse de Recibo
ADC	Convertidor Analógico-Digital
AFH	Alto de Frecuencia Adaptable
AI	Inteligencia Artificial
AMQP	Protocolo Avanzado de Cola de Mensajes
AP	Punto de Acceso
API	Interfaz de Programación de Aplicaciones
ARM	Máquina RISC Avanzada
BAN	Red Área Corporal
BLE	Bluetooth Low Energy
CAN	Red de Área de Controladores
CDMA2000	Acceso Múltiple de División de Código 2000
CloT	IoT Celular
CoAP	Protocolo de Aplicación Restringida
CPU	Unidades de Procesamiento Central
CS	Selección de Chip
CSR	Solicitud de Firma de Certificado
CSS	Espectro Ensanchado Chirp
DAC	Convertidor Digital-Analógico
dB	Decibelios
DBPSK	Modulación de Desplazamiento de Fase Binaria Diferencial
DHCP	Protocolo de Configuración Dinámica de Host
DNS	Sistema de Nombres de Dominio
DSC	Sistema Celular Digital
DTLS	Seguridad de la Capa de Transporte de Datagramas
E/S	Entrada/Salida
EDGE	Tasas de Datos Mejoradas para la Evolución del GSM
EEPROM	Memoria de solo Lectura Programable y Borrable Eléctricamente
EGSM	GSM extendido
EPS	Sistema de Paquetes Evolucionado
EUI	Identificador Único Extendido
FFD	Dispositivo de Funcionalidad Completa
FPGA	Matriz de Puertas Lógicas Programable de Campo
FSK	Modulación por Desplazamiento de Frecuencia
FTP	Protocolo de Transferencia de Archivos
GFSK	Modulación de Desplazamiento de Frecuencia Gaussiana
GPRS	Servicio General de Paquetes Vía Radio
GPS	Sistema de Posicionamiento Global
GPU	Unidad de Procesamiento Gráfico
GSM	Sistema Global para Comunicaciones Móviles
GSN	Red de Sensores Globales
HAPS	Sistemas de Estación de Plataforma Estratosférica de Alta Altitud

HBC	Comunicaciones del Cuerpo Humano
HDMI	Interfaz Multimedia de Alta Definición
HSPA	Acceso a Paquetes de Alta Velocidad
HTML	Lenguaje de Marcado de Hipertexto
HTTP	Protocolo de Transferencia de Hipertexto
I <sup>2</sup> C	Circuito Inter-Integrado
I <sup>2</sup> S	Interchip Integrado para sonido
IaaS	Infraestructura como Servicio
ICMP	Protocolo de Mensajes de Control de Internet
ID	Identificador
IDE	Ambiente de Desarrollo Integrado
IGMP	Protocolo de administración de grupos de Internet
IMU	Unidad de Medición Inercial
IP	Protocolo de Internet
IPv4	Protocolo de Internet versión 4
IPv6	Protocolo de Internet versión 6
IR	Infrarrojo
ISM	Industriales, Científicas y Médicas
JID	Jabber ID
JSON	Notación de Objeto de JavaScript
LAN	Red de Área Local
LOS	Línea de Vista
LPWA	Red de Baja Potencia
LPWAN	Red Inalámbrica de Área Amplia de Baja Potencia
LR-WPAN	Red Inalámbrica de Área Personal de Baja Velocidad
LTE	Evolución a Largo Plazo
M2M	Máquina a Máquina o Dispositivo a Dispositivo
MAC	Control de Acceso al Medio
MEMS	Sistemas Micro-Electromecánicos
MISO	Maestro de Entrada y Esclavo de Salida
MOSI	Maestro de Salida y Esclavo de Entrada
MPPT	Seguidor del Punto de Máxima Potencia
MQTT	Transporte de Telemetría de Cola de Mensajes
NACK	No-Acuse de Recibo
NAT	Traductor de Direcciones de Red
NB	Banda Estrecha
NB-IoT	Banda Estrecha de IoT
NFC	Comunicación de Campo Cercano
NLOS	Sin Línea de Vista
No-WD	Dispositivos no Vestibiles
NwkAddr	Dirección de Red
OAuth	Autorización Abierta
OFDM	Multiplicación por División de Frecuencia Ortogonal
OS	Sistema Operativo
OSI	Interconexión de Sistemas Abiertos
OTAA	Activación por Aire
P2P	Punto a punto
PaaS	Plataforma como Servicio
PAN	Red de Área Personal
PAN ID	ID de Red Personal

PCI	Interconexión de Componentes Periféricos
PCS	Sistemas Personales de Comunicaciones
PHY	Capa Física
PIFA	Antena Plana Invertida-F
PWM	Modulación por Ancho de Pulsos
QoS	Calidad de Servicios
QPSK	Modulación por Desplazamiento de Fase
QSPI	Interfaz periférica serial en cola
R/W	Lectura/Escritura
REST	Transferencia de Estado Representacional
RF	Radio-Frecuencia
RFD	Dispositivo de Funcionalidad Reducida
RFID	Identificación por Radio-Frecuencia
RISC	Computador con Conjunto de Instrucciones Reducidas
RLY	Retransmisor
RS	Estándar Recomendado
RSVP	Protocolo de Reserva de Recursos
RTC	Reloj de Tiempo Real
RTOS	Sistemas Operativos de Tiempo Real
SaaS	Software como Servicio
SAP	Punto de acceso al servicio
SASL	Autenticación Simple y Capa de Seguridad
SBC	Ordenadores de Placa Reducida
SCL/SCLK	Reloj Serie
SCTP	Protocolo de Transmisión de Control de Flujo
SD	Seguro Digital
SDA	Datos Seriales
SDK	kit de desarrollo de software
SDRAM	Memoria de Acceso Aleatorio Dinámico Síncrono de Doble Velocidad de Datos
SIM	Módulo de Identidad de Suscripción
SMD	Dispositivo de Montaje Superficial
SMTP	Protocolo Simple de Transferencia de Correo
SNAP	Protocolo de acceso a subred
SoC	Sistema-en-Chip
SPI	Interfaz Periférica Serial
SQL	Lenguaje de Consulta Estructurada
SRAM	Memoria Estática de Acceso Aleatorio
SS	Selección de Esclavo
SSID	Identificador de Conjunto de Servicios
SSL	Capa de Puertos Seguros
STA	Estación Base
TCP	Protocolo de Control de Transmisión
TCP/IP	Protocolo de Control de Transmisión/Protocolo de Internet
TI	Tecnologías de la Información
TIC	Tecnologías de la Información y Comunicación
TIM	Mapas de Indicación de Tráfico
TinyML	TensorFlow Lite
TLS	Seguridad de la Capa de Transporte
UART	Transmisor Receptor Asíncrono Universal
UDP	Protocolo de Datagramas de Usuario

UMTS	Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles
UNB	Banda Ultra Estrecha
URI	Identificador Uniforme de Recursos
URL	Localizadores Uniformes de Recursos
USB	Bus Universal en Serie
UUID	Identificadores Únicos Universalmente
UWB	Banda Ultra Ancha
VHDL	Lenguaje de Descripción de Hardware VHSIC
VHSIC	Circuito Integrado de muy Alta Velocidad
WBAN	Red Inalámbrica de Área Corporal
WD	Dispositivos Vestibles
WLAN	Red Inalámbrica de Área Local
WMAN	Red Inalámbrica de Área Metropolitana
WPA	Acceso Protegido a WIFI
WPAN	Red Inalámbrica de Área Personal
WS	Sensores Vestibles
WSN	Red de Sensores Inalámbricos
WWAN	Red Inalámbrica de Área Amplia
XML	Lenguaje de Marcado Extensible
XMPP	Protocolo Extensible de Mensajería y Comunicación de Presencia

## ACERCA DEL AUTOR

---

**Byron O. Ganazhapa** obtuvo el título de licenciatura en ingeniería en electrónica y telecomunicaciones de la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL), Loja, Ecuador, en el año 2014; y el título de máster en ingeniería electrónica de la Università della Calabria (UNICAL), Arcavacata di Rende, Italia, en el año 2019. Actualmente se encuentra trabajando en el desarrollo de aplicaciones de automatización y control, programación de dispositivos embebidos, dispositivos orientados a la salud humana y redes de sensores inalámbricos. Sus áreas de interés son las tecnologías IoT, Cloud Computing, Big Data, redes inalámbricas e Inteligencia Artificial.

# EL ECOSISTEMA DEL INTERNET DE LAS COSAS

## INTRODUCCIÓN

---

En los últimos años, Internet ha evolucionado y su uso se ha convertido en una necesidad prioritaria en muchos aspectos de la vida cotidiana. El enfoque de una plataforma global basada en la comunicación de objetos inteligentes ha comenzado a dar pasos agigantados hacia el futuro. La tecnología *Internet de las Cosas* (en inglés, “*Internet of Things*”, abreviado IoT) se convierte en una necesidad para la sociedad de hoy y del futuro, integrando las personas con las cosas y formando sistemas de información robustos y eficientes a través de redes y nodos inalámbricos. Esta tecnología evoluciona las cosas creando dispositivos, sensores y actuadores perfectamente combinados con entornos físicos y/o virtuales, y trasladándonos al desarrollo de nuevas aplicaciones y servicios a partir de las necesidades y requerimientos.

En el año 1999, Kevin Ashton fue el primero en utilizar el término IoT (Ashton, 2009) en la gestión de cadenas de suministro con etiquetas de *Identificaciones por Radio-Frecuencia* (RFID) o artículos con código de barras “cosas” que ofrecen una mayor eficiencia y responsabilidad a las empresas. Después de 10 años, un artículo publicado por el mismo autor en *RFID Journal*, menciona la importancia de las cosas como dispositivos autónomos e inteligentes (Ashton, 2009):

*“Si tuviéramos computadoras que supieran todo lo que había que saber sobre las cosas, utilizando los datos que recopilaron sin nuestra ayuda, podríamos ser capaces de rastrear y contar todo, y reducir en gran medida el gasto, la pérdida y el costo. Sabríamos cuándo las cosas necesitarían ser reemplazadas, reparadas o retiradas del mercado, y si estaban frescas o pasadas a mejor momento.”*

Pero antes del apogeo de IoT, ciertas tecnologías han venido ya aplicando el término de interconectividad e interacción de manera inteligente en redes de comunicación (denominado era Pre-IoT), por ejemplo: Los cajeros automáticos podrían ser uno de los primeros, que en la década de 1970 han venido usándose como dispositivos de interacción entre la banca y el cliente. Además, en la década de 1980, las máquinas expendedoras podrían ser otros ejemplos de dispositivos prototipo e interacción inteligente.

En la actualidad, IoT es muy inclusiva, abarcando una amplia gama de dominios de aplicaciones, que incluyen atención médica, servicios públicos, transporte, industria, etc., tanto en ambientes personales, hogar y móviles. En el campo industrial, IoT ha venido ampliando aún más la gama de cosas interconectadas, llamado *“Industrial-IoT”* (I-IoT) con un mundo de objetos inteligentes en red. En definitiva, se espera que IoT convierta las cosas en elementos activos de los negocios, la información y procesos sociales. De acuerdo con Mark Weiser acerca de la realidad de las cosas, estamos conectados a un mundo físico computarizado y diseñado para ayudar a las personas con actividades de una manera discreta, a través de dispositivos cotidianos altamente computarizados que interpretan nuestros sentidos y entorno.

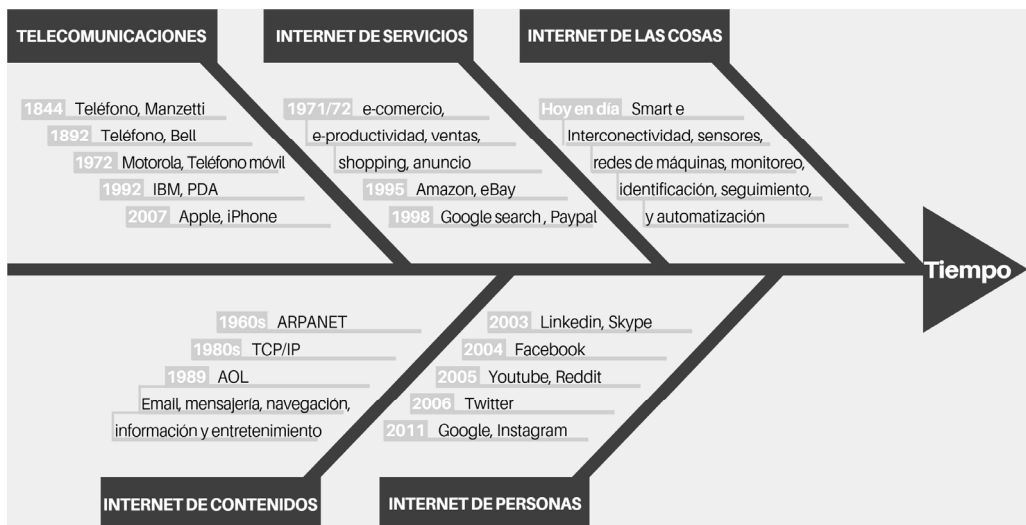


Figura 1.1. Línea de tiempo de la evolución de Internet.

Durante toda la línea de tiempo correspondiente a la evolución de las *Tecnologías de la Información y Comunicación* (TIC), desde el nacimiento de las telecomunicaciones con el concepto del "telégrafo oral" de Innocenzo Manzetti en 1844 a través de la primera llamada telefónica de Nueva York a Chicago por Alexander Bell en 1892 hasta el IoT con las tecnologías de redes y dispositivos inteligentes de la [Figura 1.1](#), hemos observado el increíble esfuerzo que científicos y desarrolladores han llevado a la humanidad hacia la interconexión global mediante la integración de tecnologías y "cosas" que brindan servicios para el desarrollo y bienestar mundial. Actualmente estamos cursando en la era posterior a la PC (Post-PC), donde los teléfonos móviles y otros dispositivos portátiles, como el dispositivo asistente personal digital (PDA), están cambiando nuestro entorno al hacerlo más interactivo e informativo. En el año 1991, el padre de la *computación ubicua* (también conocido "*Ubicomp*"), Mark Weiser definió un entorno inteligente como:

*"El mundo físico que se entrelaza de manera invisible y rica con sensores, actuadores, pantallas y elementos computacionales, integrados a la perfección en los objetos cotidianos de nuestro vivir se conectan a través de una red continua."*

Con la evolución de las tecnologías y la creación de Internet, UbiComp ha logrado que los dispositivos personales se comuniquen con cualquier otro dispositivo en el mundo. A partir de esta iniciativa, el IoT revolucionará las tecnologías que transformarán Internet en una red completamente integrada. Muchos de los dispositivos de nuestro entorno formarán parte de la red de una forma u otra. Desde las tecnologías de RFID, red de sensores inalámbricos (WSN), computación en la nube ("Cloud Computing") y posteriores tecnologías evolucionarán para enfrentar nuevos desafíos, en el que los sistemas de información y comunicación estarán integrados de manera invisible en el entorno que nos rodea. Esta proyección dará como resultado la generación de enormes cantidades de información que deben ser almacenadas, procesadas y presentadas de forma transparente, eficiente y fácilmente interpretable, a medida que pasamos de páginas web estáticas (www) a web de redes sociales (web2) y a web de computación ubicua (web3).

Con la presencia de tecnologías de acceso inalámbrico a Internet como WIFI o 4G-LTE, la evolución hacia redes ubicuas de información y comunicación es evidente. Para llegar a la visión de IoT, los dispositivos deberán evolucionar para conectar cosas tradicionales existentes e integrar la inteligencia en nuestro ambiente, y es esencial contar con recursos de computación y almacenamiento eficientes, seguros, escalables y orientados al mercado. Para ello, IoT exige:

- ① Una comprensión compartida de la situación de sus usuarios y sus dispositivos (teléfonos móviles, portátiles, etc.).

- ② Arquitecturas de software y redes de comunicación inalámbricas generalizadas para procesar y transmitir la información.
- ③ Herramientas de análisis que apuntan a un comportamiento autónomo e inteligente.

Pero a consecuencia de la evolución tecnológica, el concepto de IoT ha cambiado sustancialmente. El objeto principal de hacer que una computadora tenga sentido de la información sin la ayuda de la intervención humana sigue siendo la misma. La evolución de Internet ha transformado que los dispositivos se conecten en una red de objetos interconectados que recolectan información del entorno (detección o “*sensing*”) que interactúan con el mundo físico (control y procesamiento), y que utilizan estándares de Internet existentes para proporcionar servicios para la transmisión de datos, por ejemplo: Bluetooth, RFID, WIFI, ZigBee y servicios de datos telefónicos.

La integración “Sensor-Actuador-Internet” formará la tecnología en un entorno inteligente; la información generada se compartirá entre diversas plataformas y aplicaciones, para desarrollar una imagen operativa común de un entorno, donde el control de ciertas “cosas” sin restricciones se hacen posibles. Para aprovechar al máximo la tecnología de Internet, es necesario implementar una infraestructura de red de sensores inalámbricos a gran escala, independiente de la plataforma, que incluya gestión y procesamiento, actuación y análisis de datos. La computación en la nube promete alta confiabilidad, escalabilidad y autonomía para proporcionar acceso ubicuo, descubrimiento dinámico de recursos y capacidad de compilación requerida para las aplicaciones de IoT de próxima generación.

Cada día el mundo es más industrializado y sigue procesos más complejos de producción, esto exige que los dispositivos estén más conectados e integrados a la red. Por ejemplo, una línea de productos canalizados; durante un proceso, las máquinas pueden llevar a cabo las mismas o diferentes funciones o tareas, y algunas máquinas dependen en gran medida de la salida de otras máquinas. La conexión entre máquinas en red también se puede configurar dinámicamente para aumentar la flexibilidad y la adaptación a tareas personalizadas. Como resultado, la asociación inteligente de las máquinas en la red es fundamental para mejorar el rendimiento de los sistemas de fabricación. Por lo tanto, para valorar el significado de IoT radica en su capacidad para conectar una variedad de dispositivos heterogéneos; incluidos objetos existentes cotidianos; sensores inteligentes integrados; cómputos conscientes del contexto; redes informáticas tradicionales; y objetos inteligentes que difieren en su diseño, tamaño, sistemas, protocolos, inteligencia y aplicaciones. Sin embargo, el rápido crecimiento de IoT a gran escala conduce a la creación y



manifestación de grandes datos que se almacenan localmente o en depósitos de datos distribuidos en la nube llamado "*Big Data*". Todo el potencial de fabricación inteligente requiere metodologías fundamentalmente nuevas para la gestión de datos IoT a gran escala, el procesamiento de la información y el control del proceso de fabricación. Por ejemplo, IoT puede desplegar una multitud de sensores para monitorear continuamente las condiciones de una máquina y luego transmitir datos a la nube. Los datos no solo son señales históricas de sensores y mediciones recopiladas de una gran cantidad, sino también datos en línea de monitoreo "*in-situ*" de máquinas. Los datos se pueden recuperar fácilmente desde la plataforma en la nube a las computadoras distribuidas para el procesamiento en paralelo y se utilizan para extraer información útil y algoritmos prototipo para su implementación en la nube o en las cosas de IoT. A medida que IoT y Big Data trasladan a la elaboración de sistemas físicos cibernéticos, el mundo físico se refleja en el ciberespacio a través del procesamiento, modelado y simulación de información basada en datos, y la integración e interacción de físicos cibernéticos requiere métodos inteligentes.

En la estandarización de IoT es trascendental la interoperabilidad avanzada para todos los dispositivos y sensores, que también requieren un sistema de gestión de identidad. Además, la seguridad de la red, así como la confiabilidad de datos, plantea nuevos desafíos. Por último, e importante, se requieren sistemas eficientes de gestión de energía y datos, con el objetivo de prolongar la vida de los sistemas IoT. Todos estos desafíos deben abordarse de acuerdo con el tipo adoptado de tecnologías de red.

Este capítulo presenta la tecnología IoT en un enfoque introductorio, tendencias, predicciones, elementos tecnológicos asociados a IoT; arquitecturas; estándares y protocolos de comunicación adoptados para IoT con descripciones breves de las topologías de la red; funcionalidad, seguridad y aplicaciones de IoT. En la literatura, el término "tecnología IoT" tiende a ser confuso, ya que puede utilizarse para especificar protocolos de cada capa arquitectónica del IoT. Con el objetivo de proporcionar una mejor comprensión de los componentes IoT, se detallan esquemas que permiten contribuir y calificar adecuadamente las tecnologías para IoT, y una tabla que describe de mejor manera las tecnologías de comunicación. Además, mencionaremos algunos ejemplos para referenciar mejor las aplicaciones de IoT.

---

## **IOT: UNA VISIÓN GENERAL**

---

Con los avances tecnológicos, la vida cotidiana está cambiando, tanto en el hogar como en el trabajo y durante el tiempo libre. La tecnología de redes, dispositivos e información se están volviendo cada vez más pequeños, más potentes y más