

# **Evolución del Internet de las Cosas (IoT): Innovación y eficiencia**

Luis Orlando Philco Asqui  
Maura Mariela Benítez Almirón

# **Evolución del Internet de las Cosas (IoT): Innovación y eficiencia**

---

Luis Orlando Philco Asqui  
Maura Mariela Benítez Almirón

Este libro ha sido debidamente examinado y valorado en la modalidad doble par ciego con fin de garantizar la calidad científica del mismo.

© Publicaciones Editorial Grupo Compás  
Guayaquil - Ecuador  
compasacademico@icloud.com  
<https://repositorio.grupocompas.com>



Philco, L., Benítez, M. (2024) Evolución del internet de las cosas (IoT): Innovación y eficiencia. Editorial Grupo Compás

© Luis Orlando Philco Asqui  
Maura Mariela Benítez Almirón

**ISBN: 978-9942-33-854-9**

El copyright estimula la creatividad, defiende la diversidad en el ámbito de las ideas y el conocimiento, promueve la libre expresión y favorece una cultura viva. Quedan rigurosamente prohibidas, bajo las sanciones en las leyes, la producción o almacenamiento total o parcial de la presente publicación, incluyendo el diseño de la portada, así como la transmisión de la misma por cualquiera de sus medios, tanto si es electrónico, como químico, mecánico, óptico, de grabación o bien de fotocopia, sin la autorización de los titulares del copyright.

## **PRÓLOGO**

En este libro los autores detallan ciertas tecnologías que convergen para el ecosistema del Internet de las Cosas (IoT, Internet of Things) concepto que ha revolucionado la manera en que interactuamos con el mundo que nos rodea. Se refiere a la interconexión de dispositivos cotidianos a través de Internet, permitiendo la recopilación, intercambio y análisis de datos en tiempo real. Y al establecer su origen, el autor puntualiza que la comunicación máquina a máquina (M2M) ha sido fundamental. En su esencia, el M2M es la comunicación entre dispositivos o máquinas sin intervención humana, permitiendo la transmisión de datos y la ejecución de acciones de manera automatizada.

Otra tecnología que ha apuntalado el IoT es la RFID que pueden monitorear de manera integral los movimientos de personas y cosas con usabilidad en una variedad de aplicaciones y hasta con soluciones en sectores industriales. Además, el IoT aprovecha las tecnologías de conectividad inalámbrica y sobre todo de estándares que faciliten la interoperabilidad, conectividad y la mayor transferencia de datos posible entre diferentes dispositivos y plataformas (fibra óptica y redes de telefonía celular, satélite, etc.).

Los autores concuerdan que el potencial del IoT también es alimentado por otras plataformas como son las redes de sensores inalámbricos (WSN, Wireless Sensor Network) y junto con sistemas virtualizados que utilizan la computación en la nube más el uso de la inteligencia artificial serán esenciales en desarrollo de ciudades conectadas, agricultura de precisión hasta atención médica y logística, están transformando la forma en que operan pues optimizan recursos y entregan valor. Así mismo el desarrollo de los agentes inteligentes representan un innovador sistema ciber-físico que utilizan algoritmos de aprendizaje automático y técnicas de procesamiento de datos avanzadas para analizar y tomar decisiones basadas en la información recopilada por los dispositivos IoT o infraestructura hardware.

## ÍNDICE

PRÓLOGO.....	1
ÍNDICE .....	2
INTRODUCCIÓN.....	6
CAPÍTULO 1: .....	8
ORIGEN DEL INTERNET DE.....	8
LAS COSAS (IOT) .....	8
INICIOS DEL INTERNET DE LAS COSAS .....	13
COMUNICACIÓN MÁQUINA A MÁQUINA.....	16
CARACTERÍSTICAS DE M2M.....	18
APLICACIONES DE M2M.....	18
CASO: TELEOPERACIÓN DE MÁQUINAS EN MINERÍA.....	18
PROYECTO DE TELEOPERACIÓN SUBTERRANEA .....	20
ESCENARIO 1: DRONES EN TELEOPERACIÓN DE MAQUINARIA .....	23
ESCENARIO 2: DRONES SINCRONIZADOS .....	24
PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN PARA M2M .....	26
MQTT (MESSAGE QUEUING TELEMETRY TRANSPORT).....	27
COAP (CONSTRAINED APPLICATION PROTOCOL) .....	28
LWM2M (LIGHTWEIGHT M2M) .....	28
HTTP/HTTPS .....	28
DIFERENCIA ENTRE M2M Y IOT .....	29
SISTEMAS RFID .....	29
NORMAS PARA RFID.....	31
INTEGRACIÓN DE RFID AL IOT .....	32
EJEMPLOS DE INTEGRACIÓN RFID-IOT: .....	33
RFID Y NFC .....	34
EJEMPLOS Y APLICACIONES NFC.....	35
INTEGRACIÓN DE NFC EN EL IOT .....	36
TRANSFORMACIÓN DIGITAL PARA EL IOT.....	37
TECNOLOGÍAS DIGITALES PARA INTEGRACIÓN CON EL IoT.....	39
INTELIGENCIA ARTIFICIAL (IA): .....	39
AUTOMATIZACIÓN ROBÓTICA DE PROCESOS: .....	39
ANALÍTICA DE DATOS: .....	39
COMPUTACIÓN EN LA NUBE:.....	40
BLOCKCHAIN: .....	40
DIGITALIZACIÓN Y TRANSFORMACIÓN DIGITAL .....	40
DIGITALIZACIÓN DE OBJETOS FÍSICOS .....	41
CAPÍTULO 2: .....	42
MUNDO DE LA INFORMACIÓN (OBJETOS VIRTUALES) .....	42
TECNOLOGÍAS DE ESCANEADO Y CAPTURA 3D.....	43
TÉCNICAS DE ESCANEADO 3D .....	44
ESCANEADO 3D POR TRIANGULACIÓN LÁSER: .....	44

ESCANEEO 3D CON LUZ ESTRUCTURADA: .....	45
ESCANEEO 3D POR FOTOGRAMETRÍA:.....	47
ESCANEEO 3D BASADA EN CONTACTO.....	48
ESCANEEO 3D BASADA EN PULSOS LÁSER.....	49
MAPEO Y LOCALIZACIÓN SIMULTANEA (SLAM) .....	50
MODELADO 3D Y REPRESENTACIÓN DIGITAL .....	51
PROCESOS DE MODELADO 3D:.....	51
ESTILOS DE MODELADO 3D:.....	54
REPRESENTACIÓN DIGITAL: .....	55
SOFTWARE DE MODELADO 3D.....	56
INTEGRACIÓN DE DATOS Y METADATOS .....	57
ESTANDARIZACIÓN DE METADATOS PARA OBJETOS FÍSICOS VIRTUALES..	58
GEMELOS DIGITALES .....	60
APLICACIONES Y CASOS DE USOS DE GEMELOS DIGITALES .....	61
REQUISITOS DE UN SISTEMA DE LUCHA INTELIGENTE CONTRA LOS INCENDIOS.....	61
REQUISITOS DE UN SISTEMA INTELIGENTE CONTRA INCENDIOS.....	63
REQUISITOS PARA LOS DISPOSITIVOS: .....	63
DISPOSITIVOS SENSORES:.....	64
DISPOSITIVOS MÓVILES: .....	64
DISPOSITIVOS DE PASARELA:.....	64
REQUISITOS PARA LA RED:.....	65
REQUISITOS PARA LOS GEMELOS DIGITALES.....	65
REQUISITOS PARA LAS APLICACIONES .....	66
CAPACIDADES PARA SISTEMA CONTRA INCENDIO .....	66
CAPACIDADES DE LA CAPA DE DISPOSITIVO.....	67
DISPOSITIVOS SENSORES:.....	68
DISPOSITIVOS MÓVILES .....	69
PASARELAS: .....	70
CAPACIDADES DE LA CAPA DE RED:.....	70
CAPACIDADES EN CAPA DE SOPORTE DE APLICACIONES:.....	71
CAPACIDADES DE LAS APLICACIONES:.....	74
CASO: RESPUESTA INTELIGENTE CONTRA INCENDIOS .....	74
ESTRATEGIAS DE RESCATE Y FORMACIÓN.....	75
DESAFÍOS Y CONSIDERACIONES.....	76
RIESGOS PRINCIPALES: .....	76
MEDIDAS DE MITIGACIÓN: .....	77
CAPITULO 3:.....	79
OTRAS TECNOLOGÍAS DISRUPTIVAS EN EL IOT .....	79
INTELIGENCIA ARTIFICIAL.....	80
CLASIFICACIÓN DE LA AI.....	82
POR SU ENFOQUE TÉCNICO:.....	82
POR SU MÉTODO DE APRENDIZAJE AUTOMÁTICO (ML):.....	82
POR SU ARQUITECTURA: .....	84
OTRAS ARQUITECTURAS: .....	86
POR SU APLICACIÓN:.....	87
EDGE COMPUTING (COMPUTACIÓN EN EL BORDE): .....	88

INTRODUCCIÓN AL EC .....	88
ARQUITECTURA DE EC.....	89
LOS CLOUDLETS.....	89
COMPUTACIÓN DE BORDE MÓVIL.....	91
ARQUITECTURA DE IOT BASADA EN EDGE COMPUTING .....	92
BENEFICIOS DE EDGE COMPUTING .....	94
TECNOLOGÍAS IOT BASADAS EN EC .....	95
INTELIGENCIA EN EL BORDE O IA PERIMETRAL: .....	95
VIRTUALIZACIÓN LIGERA .....	96
EC EN SISTEMAS INTELIGENTES: ESTUDIOS DE CASO.....	98
EC EN LA ATENCIÓN SANITARIA BASADA EN IOT.....	98
EC EN LA FABRICACIÓN BASADA EN IOT.....	99
EC EN AGRICULTURA BASADA EN IOT.....	100
EC EN EL TRANSPORTE BASADO EN IOT .....	101
DESAFÍOS DE EDGE COMPUTING .....	102
RED CELULAR.....	103
LA 5° GENERACIÓN:.....	103
LA 6° GENERACIÓN Y EXPECTATIVAS FUTURAS.....	103
REALIDAD AUMENTADA Y REALIDAD VIRTUAL.....	104
REALIDAD AUMENTADA.....	105
REALIDAD VIRTUAL .....	107
REALIDAD MIXTA .....	108
REALIDAD EXTENDIDA.....	109
COMPUTACIÓN ESPACIAL VS. REALIDAD EXTENDIDA.....	109
METAVERSO .....	110
BLOCKCHAIN: .....	112
TIPOS DE BLOCKCHAIN .....	114
BLOCKCHAIN PÚBLICA: .....	114
VENTAJAS:.....	114
DESAFÍOS: .....	114
CASOS DE USO: .....	115
EJEMPLO DE BK PÚBLICA: .....	115
CADENA DE BLOQUES PRIVADA .....	116
VENTAJAS:.....	116
DESAFÍOS: .....	116
CASOS DE USO: .....	117
EJEMPLO DE BK PRIVADA:.....	117
BLOCKCHAIN HÍBRIDA .....	117
BENEFICIOS: .....	117
DESAFÍOS .....	117
CASOS DE USO: .....	117
EJEMPLO DE BK HÍBRIDA: .....	118
CADENA DE BLOQUES DE CONSORCIO .....	118
VENTAJAS:.....	118
DESAFÍOS: .....	118
CASOS DE USO: .....	118
EJEMPLO DE BK DE CONSORCIO: .....	119
PLATAFORMAS DE DESARROLLO BLOCKCHAIN .....	119
SENSORES AVANZADOS .....	119
DIFERENCIAS ENTRE SENSORES CIENTÍFICOS E INDUSTRIALES: .....	120

CONVERGENCIA EN EL IOT:.....	121
CAPÍTULO 4: AGENTES INTELIGENTES .....	122
AGENTES REACTIVOS:.....	123
AGENTES DELIBERATIVOS:.....	123
AGENTES BASADOS EN METAS:.....	124
AGENTES BASADOS EN APRENDIZAJE: .....	124
AGENTES BASADOS EN LENGUAJE: .....	125
RELACIONES ENTRE LOS AGENTES: .....	126
INTELIGENCIA ARTIFICIAL DISTRIBUIDA .....	126
SISTEMAS MULTIAGENTES .....	127
AGENTES Y SU ENTORNO .....	127
APLICACIONES PRÁCTICAS: .....	128
PRINCIPIOS FUNDAMENTALES .....	129
PERCEPCIÓN DEL ENTORNO .....	129
ACTUACIÓN EN EL ENTORNO.....	130
ENTORNO O ESCENARIO .....	130
RAZONAMIENTO QUE APOYA LA TOMA DE DECISIONES .....	131
CASO DE USO .....	132
REFERENCIAS.....	137



## INTRODUCCIÓN

El uso de la comunicación entre máquinas M2M ya estaba siendo utilizado en aplicaciones como telemetría, monitoreo remoto y sistemas de control industrial. Estos primeros sistemas M2M a menudo operaban en redes cerradas y propietarias, limitando su interoperabilidad y escalabilidad, sin embargo, hoy con la estandarización es posible tener un desempeño superior. La cantidad de dispositivos M2M conectados ha aumentado rápidamente en diversas industrias. La tasa de crecimiento anual compuesta prevista de conexiones de 2019 a 2024 (Statista, 2023). Una tecnología madura e importante para el IoT es el sistema de identificación por radio frecuencia RFID que monitorea de manera integral los movimientos de personas y cosas. Las etiquetas RFID son los sensores más pequeños que admiten IoT. Esto último junto a otras infraestructuras tecnológicas formará la base de un ecosistema de IoT donde todas las cosas (objetos, personas, animales, electrodomésticos, etc.) estén conectadas.

Se estima que para 2025, se utilicen 100 mil millones de etiquetas RFID y sólo en la industria de las tiendas de conveniencia (punto de venta minorista que comercializan una variedad de productos y típicamente son de tamaño pequeño. Estos establecimientos comerciales están abiertas en horarios extendidos y, en la mayoría de los casos, cuentan con un equipo relativamente pequeño de cajeros, trabajadores de almacén y gerentes. (Añez, 2024).

A pesar de que la aparición de la pandemia de COVID-19 en 2020 tuvo un profundo impacto en la salud mundial está también tuvo repercusiones en lo económico (sector productivo y comercial a pequeña, media o gran escala tuvo aplazamientos, paralizaciones, etc.). Sin embargo, ciertos procesos con automatización no fueron muy afectados. La automatización es un concepto que engloba la comunicación e interacción perfecta entre dispositivos, máquinas o sistemas sin necesidad de intervención humana. Implica intercambiar datos e información entre dispositivos conectados, permitiéndoles operar, monitorear y controlar procesos de forma autónoma.

Los sensores se denominan "cosas" en el ecosistema del IoT, las cosas recopilan información de la empresa, como datos del equipo de una fábrica para predecir cuándo comenzará a funcionar mal; datos de la detección de objetos externos y personas en áreas específicas; datos que describen las condiciones de trabajo, etc. Una vez recopilados, estos

puntos de datos se convierten en la base para el análisis del desempeño de la empresa, ayudando a desarrollar nuevas estrategias comerciales, optimizar recursos, mejorar la productividad y la seguridad empresarial, etc.

Existe un desarrollo de tecnología de virtualización para la creación de réplicas virtuales de dispositivos físicos y entornos para simular y gestionar el funcionamiento de los dispositivos del mundo real. Se puede recurrir a fabricación aditiva o impresión 3D para crear cosas a partir de contenidos digitalizados. Y cuando se integra diversos sensores IoT se obtiene fabricación inteligente, esto permite el desarrollo, prueba y despliegue de aplicaciones y servicios de manera más eficiente y segura.

El panorama para los próximos años confirma la necesidad de sensores IoT a todo nivel, sea residencial, comercial e industrial. De manera coyuntural la inteligencia artificial ha iniciado un cambio vertiginoso en apoyo al análisis de los datos. De tal forma facilita el procesamiento masivo de datos en tiempo real para así favorecer el análisis y la toma de decisiones a partir de los datos.

¡El futuro donde todo está conectado se acerca!

•

**CAPÍTULO 1:**  
**ORIGEN DEL INTERNET DE**  
**LAS COSAS (IOT)**

## INICIOS DEL INTERNET DE LAS COSAS

El IoT consiste en cualquier dispositivo electrónico con capacidad de transferir datos dentro de una red que esté conectado a Internet. El IoT involucra máquinas que comunican información a través de Internet. Por lo tanto, el internet, en sí misma es un componente importante de IoT, comenzó como parte de la DARPA (Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada de Defensa) en 1962 y evolucionó hasta convertirse en ARPANET (Red de Agencias de Proyectos de Investigación Avanzada) en 1969.

Por el año 1989, el investigador David Nichols de la Universidad Carnegie Mellon creó una máquina expendedora de coca cola (este invento es catalogado como el primer dispositivo IoT) con la idea de rastrear el contenido de la máquina de forma remota. Después en 1991, John Romkey y Simon Hackett crearon la Internet Toaster. La tostadora de Internet fue un gran hito, ya que sus creadores conectaron con éxito una tostadora. a Internet y lograron encenderlo y apagarlo remotamente. La tostadora estaba conectada a Internet mediante una red TCP/IP (Protocolo de control de transmisión/Protocolo de Internet) y controlada con una base de información de gestión del protocolo simple de gestión de redes (SNMP/MIB, Simple Network Management Protocol/Management Information Base).

En la figura 1 se representa de manera cronológica algunos avances dentro del IoT.

Figura 1. Cronología del origen y avance del IoT



Fuente: (Kulkarni, 2022)

En 1993 Quentin Stafford-Fraser y sus colegas de la Universidad de Cambridge inventaron la primera cámara web en línea para una máquina expendedora de café. Esta cámara se conectó a Internet y se convirtió en la primera cámara web en línea. Así que cuando ellos querían café, tenían que abandonar sus puestos de trabajo para ir a buscarlo. Pero a menudo encontraban la cafetera vacía. Esta cámara cerca de la cafetera debía hacer clic en la cafetera 3 veces por minuto. Esto permitiría a todos comprobar (imágenes) si el recipiente estaba vacío y ahorrarles la frustración.

En la década de 1980, los proveedores de servicios comerciales comenzaron a respaldar el uso público de ARPANET, y comunicaciones vía satélites y de líneas fijas telefónicas proporcionaron comunicaciones básicas para gran parte del IoT. Además, se indica que uno de los factores de crecimiento de IoT, es la conectividad. Y es que, aunque se avanza en los despliegues de redes de telefonía celular, solamente el satélite puede proporcionar conectividad ubicua, sobre todo en los casos de dispositivos IoT ubicados en áreas remotas (desiertos, océanos, bosques, etc.). A la ubicuidad que proporciona el satélite per se, los satélites de baja órbita añaden pérdidas de propagación bajas y retardos de señal bajos, requisitos necesarios para despliegues de aplicaciones IoT. (Pérez, 2024).

A principios de 1993, se materializó la implementación de los satélites de posicionamiento global (GPS), con el Departamento de Defensa estadounidense desplegando un sistema sólido y eficiente compuesto por 24 satélites. Posteriormente, se dio paso velozmente a la colocación en órbita de satélites comerciales de propiedad privada. Con esto los servicios de conectividad prestados por constelaciones de satélites se han vuelto más asequibles, disponibles y accesibles a lo largo de los años.

Figura 2. Constelación de satélites para el IoT



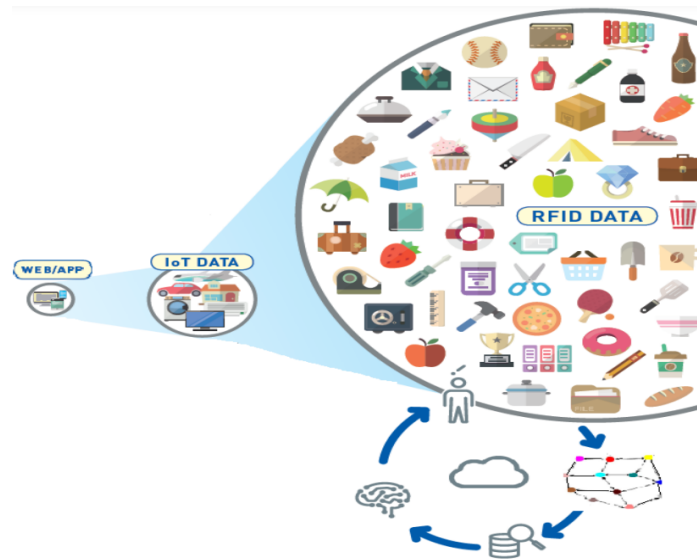
Fuente: (TU News MAGAZINE, 2019, pág. 48)

En 1999 el director ejecutivo de Auto-ID Labs. Kevin Ashton del MIT (Massachusetts Institute of Technology, Instituto Tecnológico de Massachusetts), fue el primero en describir el IoT, mientras hacía una presentación para la empresa Procter & Gamble. Allí, Ashton declaró:

*“Hoy en día, tanto las computadoras como Internet se encuentran prácticamente supeditadas a la intervención humana para acceder a información. Casi la totalidad de los aproximadamente 50 petabytes de datos disponibles en la red fueron generados inicialmente por individuos humanos al escribir, activar un botón de grabación, capturar imágenes digitales o escanear códigos de barras. Sin embargo, la limitación inherente al tiempo, la atención y la precisión de las personas constituye un desafío. Esta limitación implica que los seres humanos no son eficaces en la captura de datos relacionados con el mundo físico. En un escenario ideal, si contáramos con computadoras que poseyeran un conocimiento integral sobre diversos aspectos, utilizando datos recopilados sin nuestra intervención, podríamos llevar a cabo un seguimiento exhaustivo y preciso de todos los elementos, lo que redundaría en una significativa reducción de pérdidas, desperdicios y costos. Sabríamos cuándo es necesario reemplazar, reparar o retirar cosas y si están nuevas o han pasado de su mejor momento”.*

Esta declaración de Ashton hace más de dos décadas atrás, fue correcta, pero la definición de IoT ha evolucionado a lo largo de los años. pues no solo es la computadora o el ser humano son esos factores clave, El mismo Ashton creía en la Identificación de frecuencia de radio (RFID) era un requisito previo para el IoT, principalmente como solución de seguimiento de inventario. En retrospectiva, el seguimiento del inventario se ha convertido en una de las ventajas más obvias del IoT. Ya que, las computadoras podrían encargarse de gestionar, seguir y realizar inventarios de los elementos etiquetados mediante tecnología RFID. En 2002-2003, Walmart y el Departamento de Defensa de EE. UU. fueron las primeras grandes organizaciones en adoptar el modelo de seguimiento de inventario de Ashton utilizando etiquetas RFID.

Figura 3. La RFID y el IoT



Fuente: (Dai Nippon Printing Co, 2022)

Se cree que al colocar etiquetas RFID en todas las cosas y conectar cosas y personas a través de redes, la vida de las personas será más conveniente y confortable, y la industria en cuanto a sus procesos de fabricación optimizarán recursos y costos.

En 2012, la Oficina Federal Suiza de Energía inició un programa piloto llamado “Ciudad Inteligente Suiza”. Reunieron a representantes de universidades, empresas y administración pública para discutir nuevas ideas para el entorno urbano. Smart City Suiza tiene más de sesenta proyectos en marcha y apoya nuevas asociaciones científicas y la innovación. Así mismo, los avances en las tecnologías de comunicación inalámbrica, como Wi-Fi y Bluetooth, facilitaron la conectividad de los dispositivos. De la mano con esfuerzos de estandarización de los fabricantes y desarrolladores de dispositivos para establecer protocolos y estándares de comunicación para dispositivos de IoT.

## COMUNICACIÓN MÁQUINA A MÁQUINA

M2M permite que las máquinas se comuniquen con otras máquinas y transmitan pequeñas cantidades de información. Algunos ejemplos podrían incluir detectores de humo que detectan humo y envían la información a otros dispositivos digitales. M2M e IoT forman la base de dos de las tecnologías más utilizadas en el mundo y en el futuro. Son capaces de conectar dispositivos a Internet y ofrecer servicios a organizaciones empresariales, consumidores y usuarios.

Para desarrollar e implementar una arquitectura M2M, se han adoptado los estándares ETSI (European Telecommunications Standards

Institution), ANSI (American National Standards Institute) C12. Esta última proporciona una solución de interoperabilidad para formatos de datos, estructuras de datos y protocolos de comunicación utilizados en proyectos de infraestructura de medición automática.

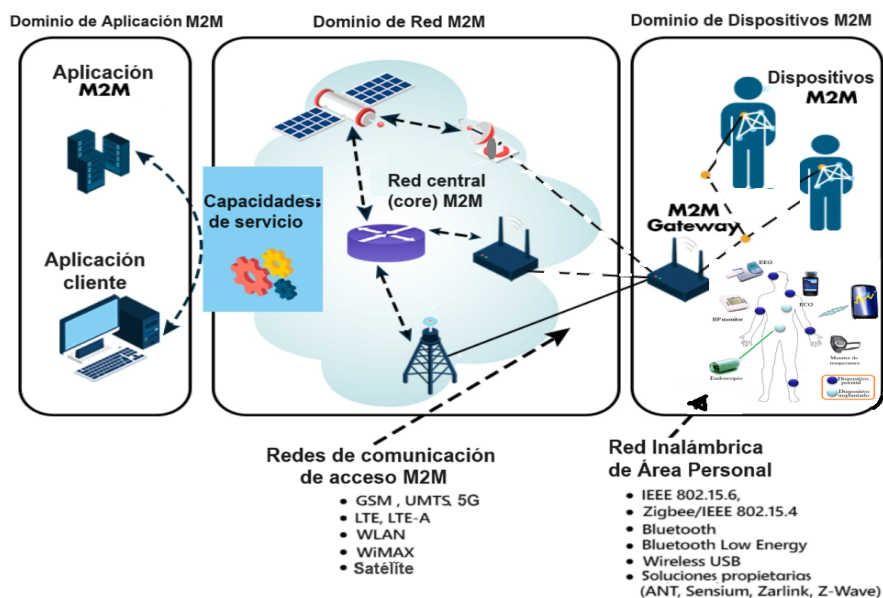
Los tres dominios principales de la arquitectura M2M son:

**1. Aplicación M2M:** Ofrece aplicaciones para utilizar la tecnología M2M de manera conveniente. Los ejemplos incluyen aplicaciones de servidor y de usuario final.

**2. Dominio de red M2M:** Actúa como puente entre el dominio de la aplicación M2M y el dominio del dispositivo M2M. Está formado por dos partes denominadas núcleo M2M y capacidades de servicio M2M.

**3. Dominio del dispositivo M2M:** Contiene todos los dispositivos que pueden conectarse fácilmente a la red M2M. También denominado red de área M2M. Incluye dispositivos que pueden conectarse directamente a través de una red, dispositivos que no pueden conectarse directamente a una red y que tal vez requieran una puerta de enlace M2M y dispositivos propietarios.

Figura 4. Arquitectura M2M con estándar ETSI



Fuente: Traducido de (TechVidvan, 2022)



## **CARACTERÍSTICAS DE M2M**

Las siguientes son algunas de las diversas características de la tecnología M2M:

- M2M consume menos energía en comparación con sus tecnologías rivales.
- Actúa como operador de red y proporciona servicios de conmutación de paquetes.
- Es capaz de detectar eventos con la ayuda de sus capacidades de monitoreo.
- Esto permite un retraso en la transferencia de datos.
- Permite especificar el tiempo para enviar y recibir datos.
- Envía una llamada de alerta o llamada de aviso para despertar los dispositivos cuando el dispositivo ingresa a una instalación desconocida.
- Esto recibe y envía continuamente cantidades mínimas de datos.

## **APLICACIONES DE M2M**

El uso más común de M2M es el monitoreo remoto. Por ejemplo, una máquina expendedora puede notificar al proveedor en caso de que un producto esté agotado. M2M también se utiliza en la gestión de la cadena de suministro y en los sistemas de gestión de almacenes. Las máquinas M2M también pueden facturar a usuarios como los contadores inteligentes. Se pueden utilizar en fábricas para detectar condiciones como presión, temperatura y estado del equipo.

Los sistemas de hogar inteligente incorporan comunicación M2M para permitir que los dispositivos y electrodomésticos se comuniquen entre sí y envíen mensajes a través de una red. En telemedicina, M2M permite el control remoto de los pacientes. Permite dispensar medicamentos y permite a los médicos realizar un seguimiento del estado de salud de los pacientes.

M2M también contribuye en sectores como la construcción, la minería, la agricultura y otros. Por medio de los estándares de las redes industriales se visualiza un futuro confiable de la conectividad industrial M2M. Se detalla el caso de comunicaciones entre máquinas en entornos adversos.

## **CASO: TELEOPERACIÓN DE MÁQUINAS EN MINERÍA**

En orografía con entornos accidentados del terreno y además remotos se plantean desafíos de conectividad únicos. Considérese un sitio de construcción de una autopista a kilómetros de distancia de la ciudad, donde las redes celulares son débiles o inexistentes. De manera similar,

los campos agrícolas y los sitios mineros, que a menudo crecen en tamaño, requieren de una red de comunicación. Las soluciones de conectividad tradicionales como Wi-Fi, y las redes de telefonía celular, sean de 4G y 5G enfrentan limitaciones en entornos dinámicos. El Wi-Fi tiene problemas con el alcance y las interferencias, lo que lo hace poco confiable en áreas llenas de obstáculos. 4G, si bien ofrece una cobertura más amplia, no puede adaptarse rápidamente a los entornos en constante cambio de sitios como minas y áreas grandes de construcción. En cambio, 5G permite velocidades mejoradas y menor latencia, hoy en día su implementación es costosa y de despliegue lento en áreas no urbanas o áreas remotas.

Las señales de radio tienden a debilitarse a medida que atraviesan materiales como roca, tierra y agua. Cuanto más densos y gruesos sean estos materiales, mayor será la atenuación de la señal.

Figura 5. Maquinaria Teleoperada



Fuente: (Grahovac M. , 2024)

Además, los materiales en el subsuelo pueden absorber parte de la energía de la señal de radio a medida que atraviesan. Esto también puede reducir la intensidad de la señal a medida que penetra más profundamente en el subsuelo. La cobertura de señal en cuanto a penetración subterránea de la misma señal y los puntos ciegos son desafíos que necesitan de soluciones más especializadas. Estos lugares están plagados de puntos ciegos de señales, creados por imponentes montones de tierra, túneles subterráneos y grandes estructuras metálicas, sin mencionar la propia maquinaria pesada. Cada uno de estos factores interrumpe la conectividad y crea obstáculos operativos. Por ejemplo, cuando una máquina pierde su conexión, el trabajo se detiene y alguien debe intervenir para restablecer la conectividad, lo que genera pérdidas de productividad.

Además, las máquinas de minería con diferentes funciones entran y salen constantemente de estos sitios, lo que requiere una red que permita una entrada y salida sencilla y sin problemas. Por medio de

equipos (puntos de acceso y/o gateway) con software de red para una conexión malla dinámica se puede garantizar una conectividad ininterrumpida de las máquinas en movimiento. Así se mitigan las sombras de cobertura de señal o puntos ciegos, asegurando que las obstrucciones físicas no interrumpan la red.

Figura 6, Comunicación entre máquinas



Fuente: (Grahovac M. , 2024)

En el mismo escenario de construcciones grandes se realizan excavaciones para crear túneles, sin darse cuenta se crea su propia barrera (una pila creciente de escombros) que eventualmente obstruye la señal entre él y el otro punto de acceso. A medida que la pila de escombros crece, se crea una posible sombra de la señal de radio, entonces la red debe anticipar la interrupción. Se adapta y redirige dinámicamente la conectividad a través de otros nodos o puntos de acceso. Por ejemplo, pueden ser vehículos cercanos, e incluso aprovechando drones como puntos aéreos de retransmisión, para mantener una línea de comunicación ininterrumpida. Esto no sólo garantiza la continuidad operativa, sino que también mejora la seguridad, ya que los datos cruciales sobre el estado de la excavadora y el entorno circundante continúan transmitiéndose en tiempo real.

## PROYECTO DE TELEOPERACIÓN SUBTERRANEA

Para superar los desafíos de cobertura en entornos subterráneos, se deben implementar soluciones de diseño de red específicas, como la instalación de antenas repetidoras o la implementación de tecnologías de refuerzo de señal. En este contexto, durante cuatro días, equipos de robótica de élite de todo el mundo participaron en el denominado "Juegos Olímpicos de Robótica". Este evento organizado por la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada de Defensa de EE. UU. (DARPA). De tal manera DARPA Challenge integraba a competidores

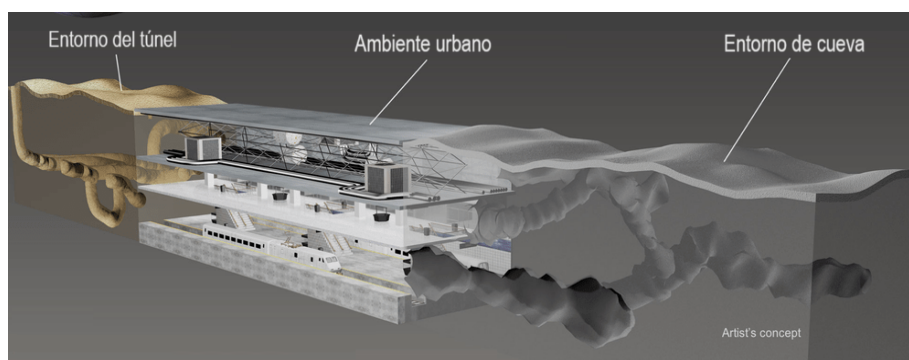
que debían experimentar tecnologías de comunicación para el campo de la construcción e inclusive en minas.

El desafío subterráneo de DARPA se estableció para ampliar los límites de la exploración y el mapeo autónomo en entornos subterráneos desafiantes donde no funciona el GPS ni infraestructura de comunicación. Estos entornos suelen encontrarse durante misiones de búsqueda y rescate después de desastres naturales. Y se pone a prueba a los robots que pueden desplegarse de forma autónoma más allá de la línea de visión y de las redes de comunicación estándar para obtener conciencia de la situación sin poner en riesgo a los humanos.

El evento incluyó circuitos que combinaron entornos urbanos, túneles y cuevas para probar robots en una variedad de desafiantes escenarios del mundo real. Los robots obtuvieron puntos al encontrar elementos de interés relevantes para la búsqueda y rescate (como sobrevivientes atrapados, mochilas y teléfonos celulares) e informar correctamente sus ubicaciones

Los entornos subterráneos pueden ser oscuros e incluir pasajes estrechos o terreno accidentado, así como áreas elevadas a las que no pueden acceder los robots terrestres. Esta combinación se presta a equipos de robots heterogéneos que pueden trabajar juntos para cubrir una variedad de entornos.

Figura 7, Desafío DARPA



Fuente: (CSIRO, 2021)

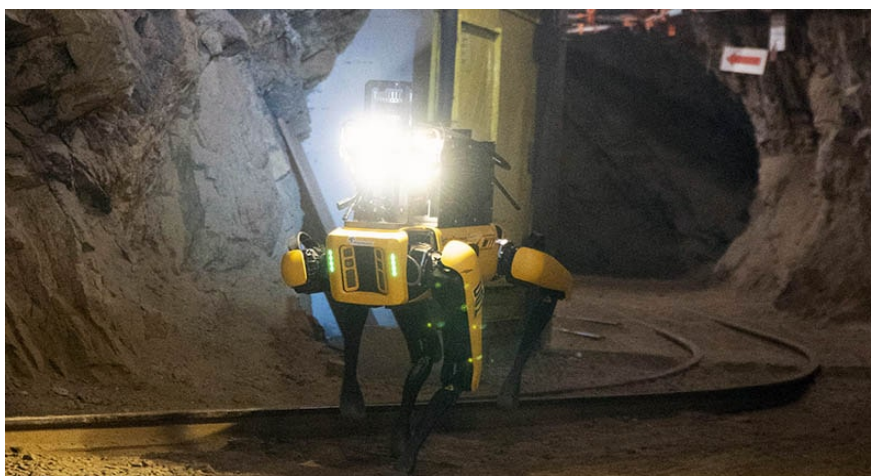
Así mismo se debía efectuar la investigación sobre teleoperación con comunicación en 5G este aspecto para la comunicación inalámbrica en un escenario subterráneo resulta ser ideal para probar topologías de red. Se denominó 5G FoLa el proyecto que tiene como objetivo probar qué tecnología de vanguardia funciona mejor en una aplicación del mundo real. Ensayar tecnología y conectividad en escenarios de gran construcción con accesos difíciles por escombros y obstáculos (simula

escenario de destres, como terremotos, incendios, etc.), resulta valioso para respuestas de tareas de inspección o rescate.

El despliegue de la tecnología 5G será crucial para impulsar la digitalización en la industria minera al proporcionar una conectividad rápida y confiable, una latencia mínima y un rendimiento sólido incluso en entornos con alta concentración de dispositivos. Con el creciente volumen de datos que estas redes deberán manejar, el 5G jugará un papel fundamental en la transformación de las operaciones mineras diarias. Su implementación no solo podría contribuir a una gestión ambiental más responsable en las minas, sino también a mejorar la seguridad de los trabajadores en situaciones de emergencia. Por ejemplo, permitiría establecer conexiones satelitales para facilitar consultas médicas remotas y procedimientos en tiempo real, accesibles desde cualquier dispositivo conectado a la red.

En la figura 8 se aprecia el robot Spot® de Boston Dynamic utilizado en conjunto con otros robots para desafío subterráneo DARPA.

Figura 8, Robot para inspección autónoma en mina



Fuente: (Grahovac M. , 2024)

En la competición subterránea, el equipo de la empresa Emesent – CSIRO Data61<sup>1</sup> en conjunto con la Georgia Tech Institute desplegó una flota de seis robots, incluidos dos drones Hovermap que emplean tecnología de detección LiDAR, dos robots o rovers autónomos con orugas y dos robots cuadrúpedos Spot. Todos estaban equipados con la

---

<sup>1</sup> Data61 de CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, Organización de Investigación Científica e Industrial de la mancomunidad) es el brazo especializado en datos y digitales de la agencia científica nacional de Australia. Más en: <https://www.csiro.au/en/about/people/business-units/Data61>

capacidad de explorar de forma autónoma mientras construían un mapa 3D unificado en tiempo real compartiendo sus datos de mapas locales a través de una red de malla inalámbrica que formaron.

Figura 9. Robots Spot, vehículos autónomos, BIA5 ATR UGV y drones Hovermap



Fuente: (EMESENT, 2021)

Emesent es líder en desarrollo de drones autónomos para mapear entornos desafiantes, como minas subterráneas, y de la CSIRO Data61 en robots terrestres autónomos, fue propicio tener una flota de robots que conducen o navegan en superficies, caminan y vuelan y que cumplen misiones complejas de forma autónoma y colaborativa. Esto es un logro tecnológico significativo y un paso importante hacia el uso de sistemas autónomos para salvar vidas y ayudar a las personas.

Se describen escenarios de teleoperación bajo la marca comercial Meshmerize. De tal forma debía integrarse redes en topología malla en la infraestructura de telefonía celular 5G. Además, estudiar la confiabilidad y latencia de los enlaces de comunicación. Para lograr esto, se equiparon nodos con interfaces 5G. Básicamente, las dos interfaces permitieron a los nodos comunicarse simultáneamente a través de las redes de malla y 5G.

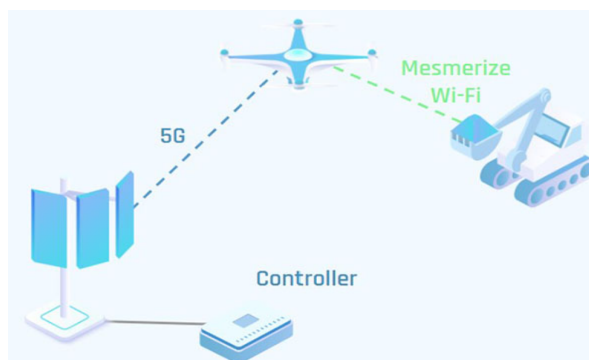
## **ESCENARIO 1: DRONES EN TELEOPERACIÓN DE MAQUINARIA**

Una excavadora sin conductor necesita levantar y colocar tubos en los lugares específicos del sitio de construcción. La estación base (BS) y la máquina están conectadas a través de un enlace 5G. Mientras la excavadora permanezca cerca de la BS, no aparecerán problemas con el control remoto. Sin embargo, a mayor distancia, la calidad del enlace de

la BS comienza a disminuir, lo que hace que el enlace de comunicación sea inestable. Una solución sería un equipo repetidor.

En la figura 10, se aprecia una red de malla secundaria aérea que garantiza una conexión estable en la teleoperación de vehículos o maquinaria robótica de construcción.

Figura 10 Red con despliegue de dron para garantizar conectividad



Fuente: (Grahovac & Gabriel, 2022)

Un enlace inestable puede causar problemas que van desde simples distorsiones de video hasta problemas de control que potencialmente pueden provocar fallas. Si hay sombras en cobertura de la señal de radio, puede ocurrir una pérdida total de conectividad. Estas áreas son bastante impredecibles en una obra de construcción ya que el entorno cambia constantemente.

Para resolver este problema, se despliega un dron que proporciona un enlace de retransmisión adicional. El dron garantiza una conexión estable con la excavadora. Así se forma una red secundaria entre la BS, el dron y la excavadora. Esta red se puede ampliar con nodos adicionales, proporcionando aún más cobertura. Un protocolo multi ruta permite la utilización de enlaces de la BS y drones al mismo tiempo. Esto crea una redundancia inteligente al proporcionar una conexión estable a través de enlaces inestables.

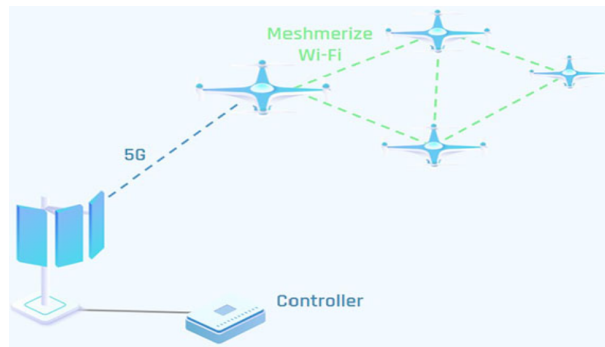
## **ESCENARIO 2: DRONES SINCRONIZADOS**

Varios drones necesitan formar un enjambre para difundir datos de sensores y sincronizar sus datos de control. Dado que el entorno en el sitio de construcción cambia constantemente, plantea un desafío para la conexión 5G primaria proporcionar conectividad para ciertas áreas cubiertas por obstáculos. Para resolver este problema, un conjunto de drones forma una red de malla secundaria. El enlace secundario garantiza una conectividad constante entre la máquina y el operador en los casos en que el enlace 5G principal tiene dificultades para mantener

una conexión. Cada dron está conectado a la BS con un enlace de red celular individual.

En la figura 11, se muestra un esquema de una red de malla secundaria que garantiza una sincronización armonizada de drones

Figura 11. Conformación de red malla dinámica con varios drones



Fuente: (Grahovac & Gabriel, 2022)

También están conectados a través de una red de malla inalámbrica. El movimiento de los drones está controlado por un nodo al que se puede acceder a través de la red celular. Para sincronizar sus movimientos, los mensajes de control deben ser recibidos por los drones simultáneamente.

Los mensajes de control se envían a cada dron al mismo tiempo. Tan pronto como el dron recibe un mensaje de control, puede transmitir el mensaje a todos los demás drones del enjambre a través de la red en malla. De esta manera, solo es necesario conectar un dron de la malla al enlace 5G para que todos los drones puedan recibir el mensaje de control.

En conclusión, para ambos escenarios dados, los dispositivos (sensores y actuadores) son avanzados, las interfaces estandarizadas para una plataforma de gestión (equipos controladores, servidores, firewalls) que faciliten la capacidad de procesamiento en beneficio del análisis de datos localmente y tomar decisiones. Además de gestión de la seguridad que incluya autenticación, cifrado de datos, control de acceso, etc. Y la conectividad M2M que tenga capacidades de conexión con Wi-Fi, Ethernet, 5G, Bluetooth, vía satelital etc., para comunicarse con otros dispositivos y sistemas integrados al IoT industrial.

Según los resultados de 5G FoLa, la telefonía celular 5G por sí sola puede tener dificultades para enfrentar los desafíos de confiabilidad o fiabilidad de la red, baja latencia y estabilidad para futuros casos de procesos automatizados. La inclusión de drones, transportes sin



conductor, etc., en un sistema de enlaces en redes de malla dinámica ayuda a mantener una buena conexión en diversas tareas cuando el escenario es grande y remoto. Como resultado, 5G es ideal en comunicaciones con drones, pues se redujo el tiempo de dispersión de los mensajes de control recibidos desde un servidor remoto y su BS.

## **PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN PARA M2M**

Los protocolos de Internet son sistemas de comunicación de datos llamados así por la forma en que retransmiten los datos entre redes (y normalmente de forma recíproca) para las comunicaciones interperimetrales. Sus funciones suelen describirse con el modelo de cuatro capas de TCP/IP mencionado anteriormente. En este caso, la capa física de red o de enlace es la misma que la capa física del modelo OSI (Open Systems Interconnection) Por el contrario, la capa de Internet TCP/IP (que se aproxima a una combinación de las funciones de la capa de enlace de datos y de la capa de red del modelo OSI) gestiona tanto las conexiones como los paquetes de datos.

En la capa de red se emplea el protocolo de internet versión 6 (IPv6), aquí se utilizan direcciones IP de 128 bits para identificar hosts en la red, y permite más de  $10^{38}$  hosts únicos. (Muelaner, 2021). El IPv6 tiene un espacio de direcciones mucho más amplio que IPv4.

Para permitir la comunicación entre los dispositivos M2M y la plataforma central, se necesitan protocolos de comunicación eficientes y seguros. Algunos ejemplos incluyen:

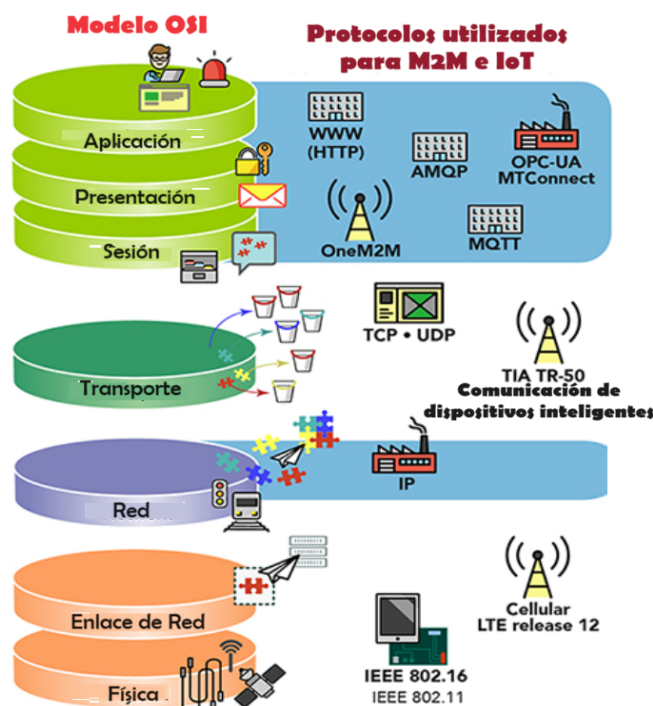
- MQTT (Message Queuing Telemetry Transport): Un protocolo ligero de mensajería para redes de sensores y dispositivos M2M.
- CoAP (Constrained Application Protocol): Un protocolo diseñado para aplicaciones en dispositivos con recursos limitados, como sensores y actuadores.
- HTTP (Hypertext Transfer Protocol): Protocolo estándar para la comunicación web, su versión que ofrece seguridad para cifrar las comunicaciones entre el navegador del usuario y el servidor web es HTTPS. Utilizado para interacciones más complejas o basadas en la nube.
- LwM2M (Lightweight M2M): Un protocolo de gestión de dispositivos diseñado específicamente para aplicaciones M2M y dispositivos IoT.

Los protocolos de red modernos (y la capa de aplicación) suelen describirse utilizando el modelo OSI clásico de las redes industriales (y comerciales). En cambio, los modelos de arquitectura de IoT de tres capas sitúan la capa de aplicación por encima de las capas de percepción

y de red; los modelos de cuatro capas la sitúan por encima de las capas de procesamiento de datos, de red y de detección. Los modelos de protocolo IoT de cinco capas son similares, pero añaden la capa de procesamiento y capa empresarial.

En la figura 12 se muestra una comparativa de capas del modelo OSI en contraparte con protocolos para M2M e IoT.

Figura 12. Capas del Modelo OSI vs protocolos M2M e IoT



Fuente: (Muelaner, 2021)

### MQTT (MESSAGE QUEUING TELEMETRY TRANSPORT)

Es un protocolo ligero de mensajería diseñado para redes de sensores y dispositivos M2M en entornos con ancho de banda limitado y alta latencia. Permite la publicación/suscripción de mensajes, lo que lo hace ideal para aplicaciones donde los dispositivos necesitan enviar y recibir datos de forma eficiente. Es altamente escalable y eficiente en cuanto a uso de recursos, lo que lo hace adecuado para implementaciones en dispositivos con capacidad limitada.

Como desventaja no brinda capacidades de gestión de errores y aunque MQTT puede hacerse seguro con un protocolo TLS completo, hacerlo aumentará su sobrecarga.

## **COAP (CONSTRAINED APPLICATION PROTOCOL)**

CoAP es un protocolo diseñado específicamente para aplicaciones en dispositivos con recursos limitados, como sensores y actuadores en el IoT. Está optimizado para redes de baja potencia y baja velocidad, como 6LoWPAN y redes basadas en UDP. Proporciona métodos de solicitud/respuesta similares a HTTP, lo que facilita la integración con aplicaciones web y servicios en la nube.

Al igual que HTTP, CoAP también utiliza el modelo REST: los servidores ponen a disposición los recursos bajo una URL y los clientes acceden a ellos mediante los métodos POST, GET, DELETE y PUT. Además, CoAP puede traducirse fácilmente a HTTP para su integración con otras funciones web y se integra con XML y JSON. (Muelaner, 2021)

Puede funcionar con una sobrecarga muy baja y las peticiones y respuestas pueden ser tan pequeñas como cuatro bytes. CoAP evita el uso de una compleja pila de transporte para utilizar UDP en su lugar.

## **LWM2M (LIGHTWEIGHT M2M)**

LwM2M es un protocolo de gestión de dispositivos diseñado para dispositivos M2M y aplicaciones IoT. Proporciona una arquitectura cliente-servidor para la gestión remota de dispositivos, incluida la configuración, actualización de firmware, monitoreo y control.

Empleado en aplicaciones de ciudades inteligentes, seguimiento de contenedores y cargas, rutinas automatizadas fuera de la carretera y supervisión de servicios públicos, LwM2M se basa en CoAP, por lo que comparte muchos de sus atributos. (Muelaner, 2021).

## **HTTP/HTTPS**

Aunque HTTP/HTTPS no son protocolos específicos de M2M, se utilizan ampliamente en el IoT para la comunicación entre dispositivos y servicios en la nube. Proporcionan una amplia compatibilidad con sistemas existentes y son fáciles de integrar con aplicaciones web y servicios en la nube. Son adecuados para aplicaciones donde la sobrecarga de protocolo no es una preocupación y se requiere una comunicación más robusta y segura.

Estos son solo algunos de los estándares y protocolos más comúnmente utilizados en M2M para conectar máquinas en el Internet de las cosas. La elección del protocolo adecuado depende de los requisitos específicos de la aplicación, como la eficiencia en el uso de recursos, la escalabilidad, la seguridad y la interoperabilidad.

Dependiendo de los requisitos específicos del sistema, puede ser necesario integrar interfaces avanzadas, como:

- Interfaz de usuario web o móvil para la visualización de datos y la gestión de dispositivos.
- Integración con sistemas de análisis de datos en la nube para el procesamiento de grandes volúmenes de datos y la generación de información útil.
- Integración con sistemas de gestión empresarial (ERP) para la automatización de procesos comerciales y la optimización de la cadena de suministro.

### **DIFERENCIA ENTRE M2M Y IOT**

M2M e IoT son similares, pero no realizan exactamente la misma funcionalidad. IoT depende de M2M, pero no es lo mismo al revés. IoT lleva M2M a otro nivel al conectar sistemas más grandes en una red privada o pública. Utiliza la comunicación entre máquinas, como sensores y hardware, entre sí, mientras que IoT utiliza una red IP para enviar y recibir datos recopilados de los dispositivos. Estos dispositivos envían los datos a grandes nubes a través de puertas de enlace de IoT.

Los sistemas de gestión de servicios se basan en datos recopilados de M2M, mientras que IoT integra una empresa conectando dispositivos y ofreciendo servicios de monitoreo remoto, lo que permite a las organizaciones monitorear los activos personales desde una ubicación remota. El IoT proporciona a los usuarios finales una experiencia personal y les ofrece mucho más que M2M.

### **SISTEMAS RFID**

La tecnología de Identificación por Radiofrecuencia (RFID) es un sistema de identificación automática que utiliza señales de radio para identificar de manera única objetos etiquetados con etiquetas RFID. Consiste en tres componentes principales: la etiqueta (también conocida como transpondedor), el lector RFID y el sistema de software asociado.

Figura 13. Lectores RFID

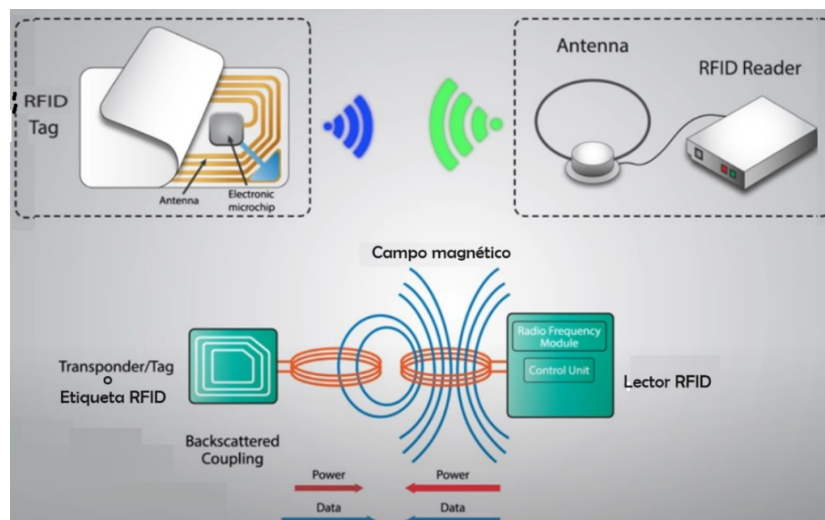


Fuente: (FQ Ingeniería, 2021)

La etiqueta RFID consta de un chip RFID y una antena. El chip almacena información única sobre el objeto al que está asociado, mientras que la antena permite la comunicación inalámbrica con el lector. Hay varios tipos de etiquetas RFID, incluyendo etiquetas pasivas, semi-pasivas y activas, que difieren en términos de su capacidad de alimentación y comunicación.

El lector RFID es el dispositivo que emite señales de radio para activar las etiquetas RFID cercanas y recibe las respuestas de las etiquetas. Estas señales se convierten en datos digitales que se pueden utilizar para identificar y rastrear los objetos etiquetados. El sistema de software asociado con RFID incluye aplicaciones de gestión de datos que interpretan y utilizan la información recopilada por los lectores RFID. Esto puede incluir sistemas de gestión de inventario, sistemas de seguimiento de activos, sistemas de control de acceso, entre otros.

Figura 14. Funcionamiento de RFID



Fuente: (ElectroDaddy, 2020)

De acuerdo con Leoni *et al* (2020), la tecnología RFID ha demostrado ser eficaz en una amplia gama de aplicaciones industriales, desde la gestión de inventario y seguimiento de activos hasta la logística y la cadena de suministro. La capacidad de identificar y rastrear objetos de manera única y automática ha llevado a una mayor eficiencia operativa y a una reducción de costos en numerosas industrias. (Leoni, Rizzi, Antonelli, & Zenti, 2020).

En cuanto a un estándar o norma específica para que la tecnología RFID sea parte del IoT. No existe uno específico, más bien, la integración de RFID en el IoT se basa en el uso de protocolos de comunicación estándar y en la interoperabilidad entre sistemas RFID y plataformas de IoT.

### **NORMAS PARA RFID**

Existen organizaciones y grupos de trabajo que han desarrollado pautas y recomendaciones para la implementación efectiva de sistemas RFID dentro del contexto más amplio del IoT. Algunos de estos organismos incluyen:

**EPCglobal:** Es una organización sin fines de lucro que desarrolla estándares para la identificación electrónica de productos utilizando tecnología RFID. EPCglobal ha trabajado en colaboración con organizaciones como GS1 (Global Standards One) para establecer estándares para la trazabilidad de productos en la cadena de suministro. En 2006, se expide el EPC Gen2, con etiquetas que utilizan un mecanismo anticollisión eficaz basado en la tecnología desarrollada de «ranuras»: gestión de múltiples sesiones del estado de las etiquetas durante la lectura en el área de cobertura. Este mecanismo le permite aumentar la velocidad de lectura hasta 1500 marcas/seg (escritura hasta 16 marcas/seg). Además, las etiquetas Gen 2 hacen posible el uso efectivo de varios lectores simultáneamente en áreas superpuestas y cercanas (tecnología Dense Reader Mode) debido a la separación de los canales de frecuencia de los lectores entre sí. (ElectroDaddy, 2020).

**ISO/IEC:** La Organización Internacional de Normalización (ISO) y la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) han desarrollado estándares relacionados con la tecnología RFID, aunque no específicamente para su integración en el IoT. Ejemplos incluyen ISO/IEC 18000, que especifica los parámetros físicos y de enlace de datos para sistemas de identificación por radiofrecuencia, y ISO/IEC 29143, que proporciona directrices para la interoperabilidad entre sistemas RFID.

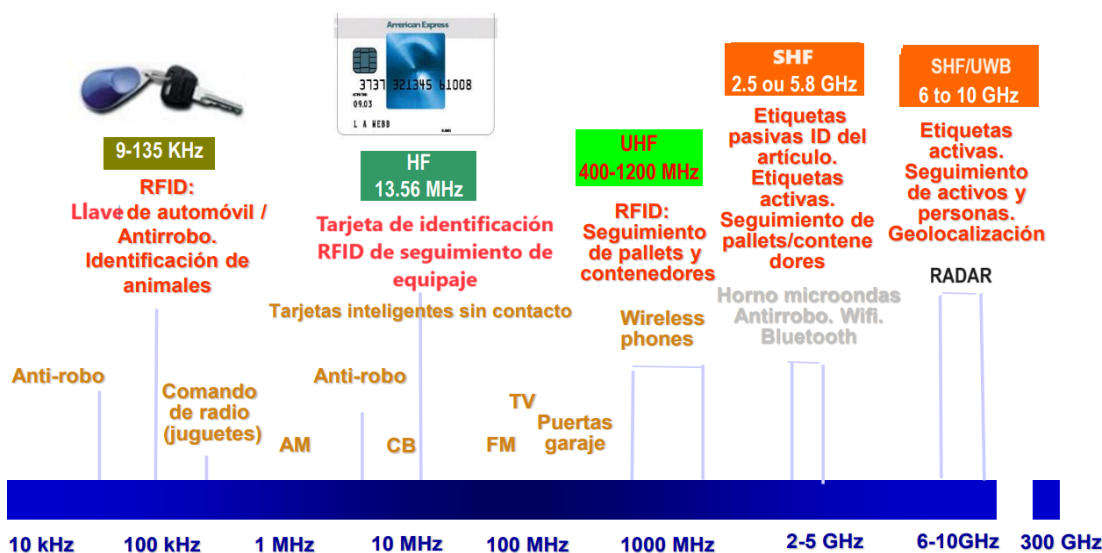
**IETF** (Internet Engineering Task Force): Aunque no se centra específicamente en RFID, el IETF desarrolla estándares para protocolos

de Internet que son ampliamente utilizados en aplicaciones de IoT, incluidos protocolos de comunicación como MQTT, CoAP y HTTP.

**ETSI:** Ha desarrollado estándares para la gestión de redes de sensores y dispositivos de IoT, que pueden incluir dispositivos RFID como parte de la infraestructura de red.

Se ha iniciado la utilización de la banda de HF (High Frequency), en aplicaciones de almacenamiento. En este rango, se aplican las normas ISO 18000 y EPC. Las normas ISO 18000 son particularmente relevantes y se emplean en aplicaciones de etiquetado de largo alcance. Dentro de la normativa ISO 18000, existen varios estándares que varían en frecuencia. En la figura 15 se especifican ciertos rangos de frecuencias para operación de algunos sistemas basados en RFID.

Figura 15. Bandas de frecuencias para comunicación RFID



Fuente: autor

## INTEGRACIÓN DE RFID AL IOT

La integración de RFID al IoT implica la conexión de sistemas RFID con infraestructuras de red y plataformas de IoT para permitir la recopilación, procesamiento y análisis de datos de forma remota y en tiempo real. Esto se logra mediante la implementación de los siguientes componentes:

Aparte de etiquetas RFID inteligentes y lectores conectados se necesitará de al menos dos plataformas:

- 1. Plataformas de gestión de IoT:** Deben proporcionar herramientas para gestionar y analizar datos de dispositivos RFID y otros dispositivos IoT. Estas plataformas permiten la integración de

datos de RFID con otros sistemas empresariales, como sistemas de gestión de inventario o sistemas de planificación de recursos empresariales (ERP).

**2. Protocolos de comunicación estándar:** Se utilizan protocolos de comunicación estándar, como MQTT, CoAP o HTTP, para facilitar la interoperabilidad entre dispositivos RFID y sistemas de IoT. Estos protocolos permiten la transmisión eficiente y segura de datos entre dispositivos y plataformas IoT.

**EJEMPLOS DE INTEGRACIÓN RFID-IOT:**

La integración de la tecnología RFID al IoT permite una gestión más eficiente y automatizada de activos, inventario y equipos en una variedad de aplicaciones industriales y comerciales.

Figura 16. Comunicaciones para sistemas RFID



Fuente: (IndiaMART, 2020)

**Gestión de inventario en retail:** En tiendas minoristas, las etiquetas RFID se utilizan para etiquetar productos, y los lectores RFID se instalan en estanterías y puntos de venta. Los datos de RFID se integran con sistemas de gestión de inventario y analíticas de IoT para monitorear el stock en tiempo real, optimizar el reabastecimiento y prevenir robos.

**Seguimiento de activos en la cadena de suministro:** Las etiquetas o tags RFID se aplican a activos, como paletas o contenedores, y los lectores se colocan en almacenes, centros de distribución y vehículos de transporte. Los datos se transmiten a plataformas de IoT para rastrear el movimiento de activos a lo largo de la cadena de suministro, optimizar rutas de entrega y mejorar la eficiencia operativa.



**Gestión de equipos en industrias:** En entornos industriales, los tags RFID se utilizan para etiquetar equipos y componentes, y los lectores se integran con sistemas de gestión de mantenimiento y control de calidad. Los datos de RFID se combinan con datos de sensores adicionales para monitorear el estado de los equipos, programar mantenimiento preventivo y mejorar la eficiencia de la producción.

El desempeño de un sistema RFID integrado puede proporcionar una mayor precisión, automatización, visibilidad y optimización en la gestión del inventario, lo que conduce a una mejora significativa en la eficiencia y productividad de las operaciones comerciales.

### **RFID Y NFC**

NFC, (Near Field Communication) es la comunicación de campo cercano, se considera una forma específica de tecnología RFID, aunque presenta ciertas diferencias y restricciones en comparación con RFID. A diferencia de RFID, NFC facilita la interacción bidireccional entre una etiqueta y un lector. Por ejemplo, se puede mencionar el caso de los pagos con tarjeta sin contacto. No obstante, NFC tiene un alcance limitado, funcionando efectivamente a distancias muy cortas, aproximadamente de unos 7 centímetros. Si la distancia excede este límite, la comunicación entre la etiqueta y el lector se verá interrumpida.

La amplitud de la señal de radiofrecuencia (13,56 MHz basada en los estándares ISO/IEC 14443) se puede modular mediante amplitud (similar al código Morse) o codificación por desplazamiento de fase para leer y escribir datos digitales en un chip de silicio, lo que permite la transferencia simultánea de datos. (con velocidades de hasta 424 kbps) y potencia. La mayoría de los dispositivos inteligentes, tarjetas (bancarias) sin contacto y pasaportes electrónicos están equipados con tecnología NFC. Puede transferir energía eléctrica lo suficientemente grande (10 mW) como para alimentar la mayoría de los sensores y dispositivos electrónicos de bajo consumo y bajo costo.

Figura 17. Modos de transferencia NFC



Fuente: (Jha, 2021)

Además, no requiere baterías, y las etiquetas NFC se pueden producir mediante métodos de fabricación establecidos de gran volumen (por ejemplo, rollo a rollo) sobre sustratos de tereftalato de polietileno (PET) o papel a bajo costo. La combinación de energía e intercambio de datos inalámbricos basados en NFC con sensores y componentes electrónicos de bajo costo permite una infinidad de nuevas aplicaciones de detección.

### EJEMPLOS Y APLICACIONES NFC

Los escenarios de aplicación de la tecnología RFID son mucho más extensos que los de NFC, e incluso se puede decir que RFID incluye NFC. Sin embargo, debido a las diferencias en las características funcionales entre los dos, básicamente no forman una relación competitiva, sino que desempeñan un papel distinto en sus respectivos escenarios de aplicación.

Figura 18. Aplicaciones con NFC



Fuente: (Kuka, Chandler, & Alkahtani, 2021)

**Pagos móviles:** Una de las aplicaciones más comunes de NFC es en los sistemas de pagos móviles, donde los usuarios pueden realizar transacciones financieras simplemente tocando sus teléfonos inteligentes cerca de un terminal NFC habilitado. Ejemplos de servicios de pago NFC incluyen Apple Pay, Google Pay y Samsung Pay.

**Control de acceso:** NFC se utiliza en sistemas de control de acceso para permitir que los usuarios desbloqueen puertas, portones o dispositivos de seguridad con solo tocar una etiqueta NFC o un teléfono inteligente cerca de un lector NFC.

**Compartir de información:** NFC permite el intercambio rápido y sin contacto de datos, como contactos, enlaces web, fotos o archivos entre dispositivos NFC compatibles. Esto se utiliza en aplicaciones de transferencia de archivos y en la configuración inicial de dispositivos electrónicos.

**Boletos electrónicos y transporte:** En el sector del transporte público y en eventos masivos, NFC se utiliza para emitir y validar boletos electrónicos y pases de transporte. Los usuarios pueden simplemente tocar su tarjeta o dispositivo NFC en un lector para acceder al transporte o al evento.

**Etiquetado inteligente:** Las etiquetas NFC se pueden integrar en productos y activos para proporcionar información adicional, como detalles del producto, instrucciones de uso o fechas de vencimiento. Los usuarios pueden acceder a esta información simplemente tocando la etiqueta con sus teléfonos inteligentes.

## INTEGRACIÓN DE NFC EN EL IOT

La integración de NFC en el IoT permite la conexión de dispositivos y sistemas que utilizan tecnología NFC con redes de IoT y plataformas de gestión. Algunos ejemplos de cómo se integra son:

**Identificación de dispositivos:** NFC se utiliza para la identificación rápida y segura de dispositivos IoT durante la configuración inicial o el mantenimiento. Los dispositivos IoT pueden estar equipados con etiquetas NFC que contienen información de identificación única, lo que facilita su registro en la red IoT.

**Gestión de activos:** En entornos industriales y empresariales, NFC se utiliza para rastrear y gestionar activos utilizando etiquetas NFC. Los trabajadores pueden escanear etiquetas NFC con sus dispositivos móviles para registrar el movimiento y el estado de los activos en tiempo real.

**Interacción con dispositivos inteligentes:** NFC se utiliza para facilitar la interacción entre dispositivos inteligentes y objetos cotidianos. Por ejemplo, los usuarios pueden tocar su teléfono inteligente en un objeto doméstico habilitado con NFC para controlar su funcionamiento o acceder a información relevante.

La integración de NFC en el IoT amplía las capacidades de comunicación y control de dispositivos, permitiendo aplicaciones innovadoras en una variedad de sectores, desde pagos móviles hasta gestión de activos y automatización del hogar.

## **TRANSFORMACIÓN DIGITAL PARA EL IOT**

La transformación digital es el proceso mediante el cual las organizaciones utilizan tecnologías digitales para cambiar o mejorar sus procesos comerciales, operaciones y modelos de negocio. En otras palabras, se refiere a la adopción de tecnologías digitales para cambiar la forma en que las empresas y otras organizaciones funcionan y se relacionan con sus clientes. El IoT desempeña un papel fundamental en esta transformación al permitir la conexión de dispositivos físicos a Internet y la recopilación de datos en tiempo real.

La integración de IoT en la transformación digital permite conectar a quienes no están conectados no solo en el entorno empresarial sino en toda la cadena de suministro. La información así recopilada se alimenta y analiza para obtener conocimientos prácticos sobre tantas facetas comerciales como sea posible. Así es como IoT impulsaría la transformación digital al crear más valor empresarial a través de conocimientos prácticos recopilados de dispositivos IoT, datos empresariales y sociales. De este modo, las soluciones de IoT se convertirán en una parte integral y acelerarán en gran medida el proceso de transformación digital.

Un ejemplo concreto, durante la pandemia de COVID-19, numerosas empresas se vieron obligadas a cerrar sus establecimientos debido a los confinamientos y medidas de cuarentena. ¿Quiénes lograron resistir en medio de esta crisis? Aquellas empresas que previamente habían digitalizado sus procesos. Posteriormente, estas empresas se vieron obligadas a realizar inversiones adicionales significativas para automatizar aún más sus operaciones y mantener sus actividades comerciales. De aquí deriva la relevancia de la transformación digital y la capacidad de las empresas para operar de manera efectiva incluso en situaciones inesperadas como una pandemia global.

Figura 19. Representación de uso de tecnologías para la transformación digital



Fuente: (Rosas, 2020)

Sin lugar a duda, la pandemia ha impulsado rápidamente la transformación digital, y este cambio es irreversible. Las empresas comprometidas con un crecimiento sostenible deben adoptar la transformación tecnológica para no perder las oportunidades que la economía digital presenta para mantener su relevancia en la era post pandemia. Antes de iniciar cualquier transformación, es crucial comprender el estado actual de la organización en términos de procesos, sistemas, cultura organizacional y capacidades digitales.

**Evaluación y comprensión de la situación actual:** Esto puede implicar realizar una auditoría interna y externa para identificar áreas de mejora y oportunidades de digitalización.

**Definición de la visión y estrategia digital:** La alta dirección debe establecer una visión clara y una estrategia digital que alinee los objetivos de la transformación con los objetivos comerciales de la organización. Esto implica identificar áreas clave de enfoque, establecer metas y métricas de éxito, y asignar recursos adecuados.

**Cambio cultural y liderazgo:** La Transformación Digital no solo se trata de tecnología, sino también de cambio cultural y liderazgo. Es fundamental involucrar a los empleados en todo el proceso, fomentar una mentalidad digital y proporcionar capacitación y apoyo adecuados.

**Adopción de tecnología digital:** Esto implica la implementación de tecnologías digitales como la inteligencia artificial, el análisis de datos, la nube, la automatización de procesos, el IoT, entre otras, para mejorar la eficiencia operativa, la toma de decisiones y la experiencia del cliente.

**Medición y mejora continua:** Se deben establecer métricas claras para evaluar el progreso y el impacto de la Transformación Digital. Esto puede incluir métricas relacionadas con la eficiencia operativa, la

satisfacción del cliente, la rentabilidad y la innovación. A partir de estas métricas, se pueden identificar áreas de mejora y realizar ajustes continuos en la estrategia digital.

## **TECNOLOGÍAS DIGITALES PARA INTEGRACIÓN CON EL IoT**

Algunas tecnologías digitales clave son:

### **INTELIGENCIA ARTIFICIAL (IA):**

Se refiere a sistemas informáticos que pueden realizar tareas que normalmente requieren inteligencia humana, como el aprendizaje, la percepción, el razonamiento y la toma de decisiones. En operaciones, la IA se utiliza para automatizar tareas repetitivas, predecir tendencias y patrones, mejorar la precisión en la toma de decisiones y personalizar la experiencia del cliente. La analítica empresarial utiliza la IA para recopilar, procesar y analizar conjuntos de datos complejos. La IA aspira a trascender la mera automatización de tareas para convertirse en un socio inteligente y colaborativo que puede interpretar y actuar sobre datos de manera autónoma, generando así un impacto significativo en una amplia gama de campos y aplicaciones.

### **AUTOMATIZACIÓN ROBÓTICA DE PROCESOS:**

Permite a las organizaciones configurar robots de software o "bots" para realizar actividades específicas, como la entrada de datos, la generación de informes, la extracción de información de documentos, la respuesta a correos electrónicos, entre otras. Los bots de RPA interactúan con las interfaces de usuario de las aplicaciones existentes de la misma manera que lo haría un usuario humano, utilizando reglas predefinidas para realizar las tareas asignadas. Esto libera a los empleados de la carga de trabajo manual y repetitiva, lo que les permite centrarse en tareas de mayor valor agregado que requieren habilidades humanas, como la creatividad, el análisis y la toma de decisiones.

Esta automatización robótica de los procesos se refiere también al procesamiento de datos comerciales y empresariales, incluyendo finanzas, recursos humanos, atención al cliente, contabilidad, gestión de operaciones y más. Ayuda a mejorar la eficiencia operativa; como el ingreso de datos, la generación de informes y la gestión de documentos, lo que aumenta la eficiencia y reduce los errores.

### **ANALÍTICA DE DATOS:**

Se utiliza en una amplia variedad de campos y aplicaciones, incluyendo negocios, ciencia, salud, gobierno, marketing, entre otros. Implica el uso de diversas técnicas y herramientas para analizar conjuntos de datos, desde simples estadísticas descriptivas hasta algoritmos de aprendizaje

automático y análisis avanzado. Importante para identificar tendencias y patrones, predecir resultados futuros, optimizar procesos y mejorar la toma de decisiones.

### **COMPUTACIÓN EN LA NUBE:**

Es un modelo de prestación de servicios informáticos que permite el acceso bajo demanda a recursos de computación, como almacenamiento, procesamiento, redes y software, a través de internet. En lugar de adquirir y mantener infraestructura y software localmente, las organizaciones pueden aprovechar la infraestructura de proveedores de servicios en la nube, como Amazon Web Services (AWS), Microsoft Azure o Google Cloud Platform, para alojar y ejecutar sus aplicaciones y datos.

La computación en la nube se basa en la virtualización, lo que permite a los proveedores de servicios crear recursos informáticos escalables y flexibles que pueden ser compartidos y utilizados por múltiples clientes. En operaciones, la computación en la nube se utiliza para reducir costos de infraestructura, mejorar la escalabilidad y flexibilidad, y facilitar la colaboración y el intercambio de datos.

### **BLOCKCHAIN:**

Es una tecnología de registro distribuido que permite la creación de un registro seguro, transparente e inmutable de transacciones y datos. Funciona como una cadena de bloques en la que cada bloque contiene una serie de transacciones verificadas que están vinculadas entre sí de forma cronológica y cifrada. Esta estructura descentralizada y segura garantiza la integridad y la confiabilidad de los datos almacenados en la cadena de bloques.

En operaciones, se utiliza para garantizar la integridad de los datos, mejorar la trazabilidad en la cadena de suministro, facilitar transacciones seguras y transparentes, y automatizar procesos contractuales. De tal forma impulsa la innovación y la competitividad en un mundo cada vez más digitalizado

### **DIGITALIZACIÓN Y TRANSFORMACIÓN DIGITAL**

Es fundamental destacar que la digitalización y la transformación digital son conceptos interrelacionados, aunque presentan distinciones significativas. La digitalización implica el proceso de convertir información de un formato analógico a uno digital, es decir, la conversión de diversos procesos (datos, información) a través de tecnologías modernas al formato digital. La principal ventaja del formato digital radica en su facilidad para ser almacenado, procesado y compartido por dispositivos electrónicos.

La digitalización brinda a las organizaciones la capacidad de acceder rápida y fácilmente a una amplia gama de información, lo que les permite tomar decisiones más fundamentadas y mejorar su eficiencia operativa. Si bien la digitalización constituye un aspecto crucial de la transformación digital, esta última representa un cambio más amplio en la forma en que opera una organización.

### **DIGITALIZACIÓN DE OBJETOS FÍSICOS**

En términos simples la Digitalización de Objetos Físicos se refiere a la virtualización de objetos físicos, proceso que permite convertir objetos del mundo físico en representaciones digitales tridimensionales, ampliando así las posibilidades de interacción y uso en entornos virtuales. Este proceso convierte objetos del mundo físico en representaciones digitales tridimensionales que pueden ser visualizadas y manipuladas en entornos virtuales. Este proceso generalmente implica escaneo y modelado 3D para capturar la geometría y la apariencia de los objetos físicos y luego transformar esa información en datos digitales.



**CAPÍTULO 2:**  
**MUNDO DE LA INFORMACIÓN (OBJETOS VIRTUALES)**

En el capítulo anterior se reconoce que un ecosistema IoT tiene objetos materiales o tangibles (mundo físico) como un motor, un árbol, cualquier objeto doméstico o un río y estos pueden equiparse con sensores que miden sus características físicas y los cambios en el entorno. Estos sensores pueden medir cualquier cosa, desde la ubicación, la temperatura, el caudal, la vibración o cualquier cosa que pueda cuantificarse.

Los electrodomésticos como medidores inteligentes, etiquetas RFID, dispositivos portátiles, automóviles conectados y varias otras máquinas y dispositivos generan una enorme cantidad de datos sobre el entorno que los rodea. Estos datos se transforman en conocimientos que permiten a las empresas responder con productos y servicios con valor inclusive personalizados.

Así mismo, dentro del ecosistema del IoT aparte del mundo físico, se tiene, el término "mundo de la información" que abarca los objetos virtuales, los cuales se refieren a la representación digital o virtualización de entornos físicos y objetos, permitiendo su identificación e integración en redes de comunicación en línea. En este contexto la tecnología 3D juega un papel vital pues en el escaneo tridimensional, los datos capturados se procesan utilizando software de modelado 3D para limpiar, editar y optimizar el modelo digital resultante. Esto puede implicar la eliminación de imperfecciones o artefactos del escaneo, la corrección de la geometría y la textura, y la reducción del tamaño del archivo para facilitar su manipulación y visualización.

Una vez completado el proceso de digitalización, el objeto físico se representa en forma digital y puede ser utilizado en una variedad de aplicaciones y entornos virtuales. Estas representaciones digitales de objetos físicos pueden ser utilizadas en campos como el diseño de productos, la arquitectura, la medicina, la educación, el entretenimiento y más.

### **TECNOLOGÍAS DE ESCANEO Y CAPTURA 3D**

El principio básico del escaneo 3D es utilizar un escáner para recopilar datos sobre un objeto, entorno o una persona. Escanear objetos del mundo real en 3D para digitalizarlos son aprovechados para una variedad de propósitos, que van desde la integración en videojuegos o entornos de realidad virtual hasta la reproducción fiel mediante impresoras 3D, esto último conocido como fabricación aditiva se refiere al proceso de creación de objetos mediante la adición de material,

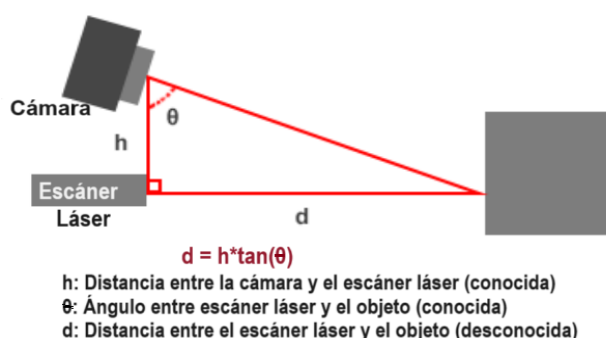
Son perfectamente compatibles tanto con el software de diseño asistido por computador (CAD, Computer Aided Design) como con la impresión 3D, siempre y cuando el modelo 3D se prepare adecuadamente mediante software especializado. Para escanear de forma tridimensional existen muchas tecnologías diferentes y cada una tiene sus pros y sus contras.

## TÉCNICAS DE ESCANEADO 3D

### ESCANEADO 3D POR TRIANGULACIÓN LÁSER:

Funciona mediante la proyección de un patrón de luz estructurada o láser sobre la superficie del objeto y la medición de la deformación o el cambio en la geometría del patrón proyectado. A partir de esta trayectoria modificada y gracias a la triangulación trigonométrica, el sistema puede detectar el ángulo de desviación del láser. El ángulo calculado está directamente relacionado con la distancia del objeto al escáner.

Figura 20. Triangulación láser



Fuente: (Prescient Technologies, 2019)

Cuando el escáner 3D recoge distancias suficientes, es capaz de mapear la superficie del objeto para recrearlo en 3D.

Los pasos para esta técnica de escaneado son:

- **Proyección del patrón de luz o láser:** Se proyecta un patrón de luz estructurada o un haz láser sobre la superficie del objeto que se va a escanear. Este patrón puede ser una serie de líneas, puntos o cualquier otra forma que permita crear un contraste claro sobre la superficie del objeto.
- **Reflexión o absorción del patrón de luz:** Cuando el patrón de luz interactúa con la superficie del objeto, se produce una reflexión o absorción de la luz dependiendo de las características de la superficie. Las áreas de la superficie que están más cerca del escáner reflejarán o absorberán la luz de manera diferente que las áreas más alejadas.

- **Captura de la imagen o patrón deformado:** Un sensor en el escáner 3D captura la imagen del patrón de luz deformado por la superficie del objeto. Esta deformación se produce debido a la curvatura y la geometría tridimensional del objeto.
- **Cálculo de la geometría tridimensional:** Utilizando principios de triangulación y algoritmos de procesamiento de imágenes, el escáner 3D calcula la distancia entre el escáner y cada punto de la superficie del objeto. Esto se logra comparando el patrón de luz proyectado con la imagen deformada capturada por el sensor.
- **Generación del modelo 3D:** Con la información de distancia recopilada para cada punto de la superficie, se reconstruye un modelo tridimensional del objeto. Esto se hace conectando los puntos vecinos mediante triángulos para formar una malla poligonal, que representa la forma y la estructura del objeto escaneado.

### **ESCANEO 3D CON LUZ ESTRUCTURADA:**

Se proyectan patrones estructurados de luz sobre el objeto, como rejillas paralelas o patrones geométricos comunes. Estos patrones se deformarán al proyectarlos sobre la figura que se escanea debido a su geometría. Analizando estas deformaciones mediante una o varias fotografías se puede reconstruir el objeto que las originó, generando así un modelo 3D que es una copia del original. Las principales ventajas de la tecnología de luz estructurada para el escaneo son su velocidad y resolución, y su luz no dañina se puede utilizar para el escaneo corporal en 3D.

Figura 21. Técnica de escaneo mediante luz estructurada



Fuente: (McMillion, 2022)

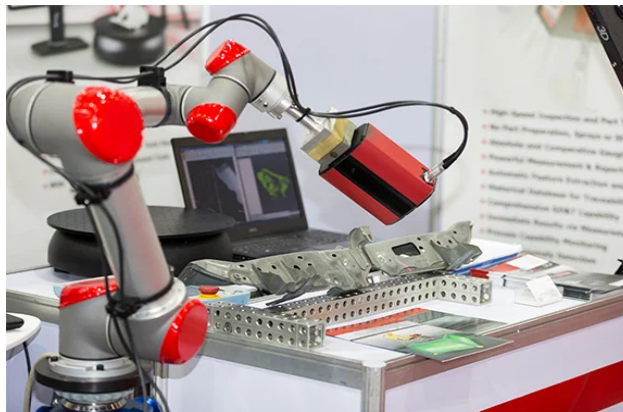
Escanear personas en 3D puede tener muchas aplicaciones. Ya son muchas las empresas que fabrican y venden pequeñas copias de nosotros mismos, escaneando primero a la persona y luego imprimiéndolas en 3D. Sin embargo, los escáneres 3D de luz

estructurada son sensibles a las condiciones de iluminación y tienen problemas para trabajar al aire libre a plena luz del día.

**Ingeniería Inversa:** El escaneo 3D de ingeniería inversa en la industria es un proceso meticuloso que permite crear modelos digitales precisos de objetos físicos existentes, lo que proporciona una base sólida para la innovación, el diseño y la fabricación. Se dedica a producir o diseñar piezas, puedes estar seguro de que parte del ciclo de trabajo consiste en realizar ingeniería inversa a piezas existentes.

Una forma muy cómoda de acelerar este proceso es mediante el escaneo 3D, ya que se escanea una pieza existente para su posterior análisis en un software CAD o incluso reproducirla y editarla de una forma mucho más directa. Esto ahorrará tiempo y, en consecuencia, costes al optimizar en gran medida el tiempo dedicado a la ingeniería inversa.

Figura 22. Diseño de piezas a través de Ingeniería inversa



Fuente: (Prescient Technologies, 2019)

**Medición y análisis estructural:** Para obtener las dimensiones de una pieza de forma rápida y precisa ya sea por la naturaleza complicada de la geometría de algunas piezas, dificulta la obtención de medidas exactas utilizando instrumentos convencionales como un calibrador o una regla. En este sentido, el escaneo 3D se puede comparar con una cinta métrica láser que captura todas las medidas de la pieza simultáneamente, simplificando así el proceso de medición y proporcionando resultados detallados de manera eficaz.

Figura 23. Escaneado para análisis estructural



Fuente: (SICNOVA, 2021)

Así también tener una copia tridimensional de una pieza, se puede analizarla en programas específicos para optimizar su geometría, ahorrando costes de material y tiempo de fabricación y mejorando también las propiedades mecánicas de la pieza.

### **ESCANEADO 3D POR FOTOGRAMETRÍA:**

El principio de la fotogrametría es analizar varias fotografías de un sujeto estático, tomadas desde diferentes puntos de vista, y detectar automáticamente los píxeles correspondientes a un único punto físico. Se basa en una combinación de visión por computadora y potentes algoritmos de geometría computacional.

Las principales ventajas del escaneo 3D con fotogrametría son su velocidad de adquisición y su capacidad para captar colores y texturas. La revolución de este método de escaneo 3D es que sólo necesitas fotografías de un objeto para poder convertirlo en un modelo 3D. Esto abre muchas puertas respecto a otros sistemas que requieren un escáner 3D propio, ya que podemos escanear objetos muy grandes como estatuas, edificios o incluso accidentes geográficos como montañas o ríos mediante el uso de drones con cámara. Esto se conoce como fotogrametría aérea y se utiliza cada vez más en la industria.

Figura 24. Escaneados por Fotogrametría



Fuente: (BitFab, 2021)

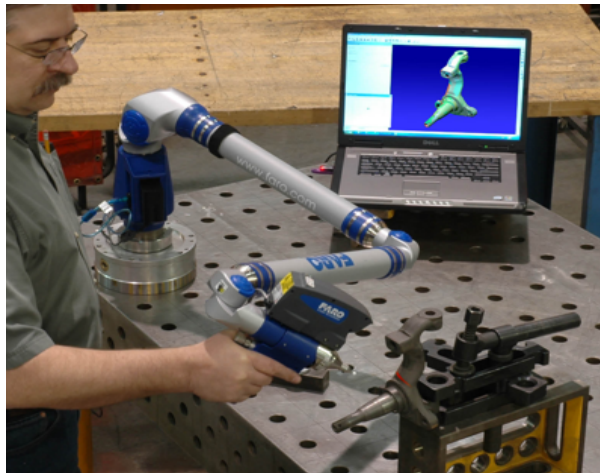
La calidad de los resultados generados por la tecnología de fotogrametría depende de la resolución de las fotografías de entrada. Esta tecnología también puede ser bastante lenta, dependiendo del software y la configuración del computador. Es decir, al examinar decenas o cientos de fotografías y miles de puntos con alta precisión y para ejecución de los algoritmos de fotogrametría, se requiere una computadora muy potente.

### **ESCANEEO 3D BASADA EN CONTACTO**

El escaneo 3D basado en contacto cuenta con un palpador o sonda que recorre todo el objeto y a través del contacto físico con su superficie captura su geometría y toda la información necesaria para la construcción de la imagen 3D. de esta forma exploran al objeto mediante un toque físico, mientras el objeto se mantiene firmemente en su lugar. En ocasiones, la sonda está unida a un brazo articulado capaz de recoger todas sus respectivas configuraciones y ángulos para mayor precisión.

Algunas configuraciones específicas de escáneres 3D de contacto se denominan máquinas de medición de coordenadas (CMM).

Figura 25. Brazo robot con sonda para escaneo con contacto



Fuente: (FARO, 2022)

Se utiliza ampliamente para realizar controles de calidad después de la fabricación o durante las operaciones de mantenimiento. Las principales ventajas de la tecnología de contacto para escaneo 3D son su precisión y capacidad para escanear en superficies transparentes o reflectantes.

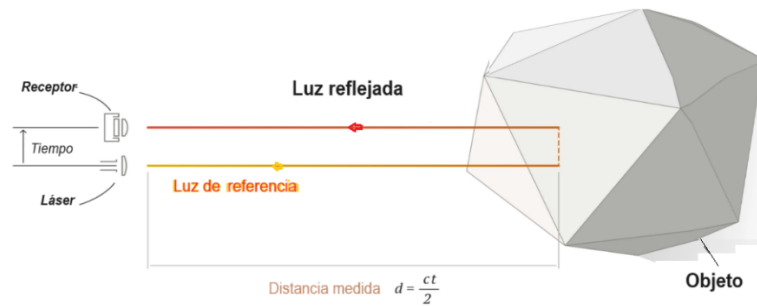
Las desventajas de la tecnología de escaneo 3D por contacto incluyen su baja velocidad y su incapacidad para trabajar con formas orgánicas y libres.

### **ESCANEEO 3D BASADA EN PULSOS LÁSER**

Son también conocidos como escáneres de tiempo de vuelo miden cuánto tiempo tarda un láser en golpear un objeto y regresar. Es decir, se emite un láser (o varios) al objeto y un receptor en el propio escáner mide cuánto tiempo tarda la luz en rebotar y regresar. Conociendo la velocidad del láser y con unos sencillos cálculos se puede utilizar la técnica para saber la distancia a la que se encuentra un punto del objeto. La distancia al objeto se calcula por el tiempo de vuelo del pulso, utilizando esta fórmula  $\text{Distancia} = (\text{Velocidad de la luz} \times \text{Tiempo de vuelo}) / 2$ . Con esta distancia se calcula una coordenada para la pequeña sección de la superficie golpeada por el rayo láser.



Figura 26, Escaneado 3D por pulso de laser



Fuente: (Golubeva, 2022)

Aunque los sistemas de este tipo de escáner pueden medir a grandes distancias, tienen las tasas de captación de datos más lentas: de cientos a miles de puntos por segundo (Golubeva, 2022). La precisión de la tecnología TOF viene determinada por la capacidad del sistema para medir con exactitud el tiempo de la señal de retorno.

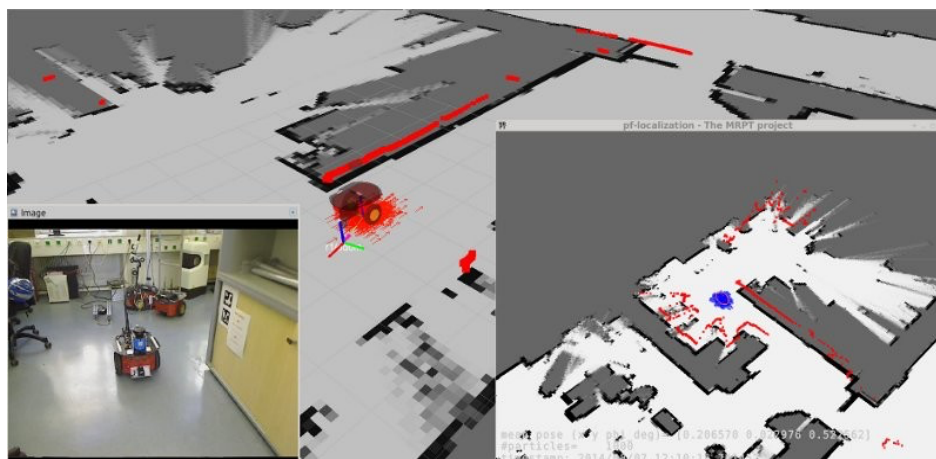
Así mismo abarcan láseres de pulso láser y de cambio de fase. Los escáneres láser 3D de cambio de fase son una subcategoría de escáneres 3D de pulso láser. Además de pulsar el láser, los sistemas de cambio de fase también modulan la potencia del rayo láser. Los láseres de cambio de fase ofrecen un mejor rendimiento general.

La tecnología de pulso láser es utilizada a menudo por escáneres láser 3D terrestres, que están destinados principalmente a la agrimensura o al escaneo tridimensional de edificios completos. Algunos escáneres 3D de pulso láser también incorporan algoritmos de mapeo y localización simultáneos (SLAM, Simultaneous Localization and Mapping) dinámicos para mejorar su capacidad de reconocer su entorno.

## MAPEO Y LOCALIZACIÓN SIMULTANEA (SLAM)

También a veces llamado Mapeo y localización concurrentes (CML, Concurrent Mapping and Localization), se desarrolló inicialmente para robots y dispositivos autónomos. Un ejemplo en interiores son las aspiradoras autónomas que planifican sus trayectorias y realizan un seguimiento de dónde se encuentran reconociendo los obstáculos, los muebles, las paredes y las esquinas de una habitación. Este tipo de tecnología es fundamental para aplicaciones como la exploración de estructuras desconocidas, la búsqueda y rescate en entornos peligrosos o la inspección de infraestructuras subterráneas.

Figura 27. Robot móvil de localización



Fuente; (Kumar, 2021)

En exteriores, los vehículos autónomos funcionan de manera similar, mapeando su entorno y analizando elementos capturados como carreteras, árboles o caminos.

SLAM se utiliza cada vez más en escáneres tridimensionales para aplicaciones móviles de cartografía y topografía. Estos escáneres 3D forman parte de la categoría; Sistemas de cartografía móviles para interiores (iMMS, indoor Mobile Mapping Systems), que pertenece al ecosistema más amplio de sistemas de cartografía móviles (MMS).

- Los iMMS están optimizados para mapeo en interiores, aunque a menudo también son capaces de escanear en 3D en exteriores, para grandes infraestructuras, sitios de construcción, minas o incluso bosques.
- Los MMS en la práctica, agrupan principalmente sensores láser que se montan en automóviles, vehículos aéreos, trenes y barcos para capturar vastos terrenos o paisajes.

### **MODELADO 3D Y REPRESENTACIÓN DIGITAL**

El modelado 3D y la representación digital son fundamentales en numerosas áreas, desde la industria del entretenimiento y la arquitectura hasta la ingeniería y la medicina. Se detalla sobre los fundamentos del modelado 3D y la representación digital:

#### **PROCESOS DE MODELADO 3D:**

El proceso implica la creación de una representación tridimensional digital de un objeto utilizando un software CAD. Mediante algoritmos incorporados en el programa, se genera una representación matemática en tres dimensiones, la cual se basa en puntos o vértices con

coordenadas espaciales del objeto. Estos puntos están conectados por aristas, que pueden ser rectas o curvas, formando superficies compuestas por caras o polígonos. La combinación de estos polígonos forma una malla que representa el objeto en 3D, permitiendo su visualización. Esta técnica tiene la capacidad de representar con precisión cualquier forma, desde simples líneas hasta figuras más complejas

Para crear un modelo 3D, en primer lugar, se genera una forma geométrica básica conocida como primitiva, como un plano, una esfera, un cubo o un cilindro, el cual está compuesto por varios polígonos. Utilizando diferentes herramientas de modelado, puedes modificar este objeto de acuerdo a tus preferencias: alterar su forma, agregar nuevos elementos y detalles. Esto implica la adición de vértices para subdividir los polígonos y ajustar su posición, manipulando así la malla para dar forma a un nuevo objeto tridimensional. Una vez completado, el modelo puede ser visualizado como una imagen 2D a través de un proceso llamado renderización 3D, el cual convierte el modelo en una fotografía de alta resolución y calidad excepcional.

**Polígonos:** En el modelado 3D, los polígonos son los bloques de construcción básicos. Estos polígonos pueden ser triángulos, cuadriláteros o cualquier forma con múltiples lados. Los polígonos se utilizan para representar superficies tridimensionales en el espacio virtual.

Figura 28. Diferentes objetos poligonales 3D.



Fuente: (Freepik, 2022)

**Mallas:** Las mallas son redes tridimensionales formadas por una colección de polígonos interconectados. Estas mallas definen la forma y la estructura de los objetos en el entorno 3D. Las mallas pueden ser más detalladas (con más polígonos) para representar objetos con mayor precisión o menos detalladas para optimizar el rendimiento.

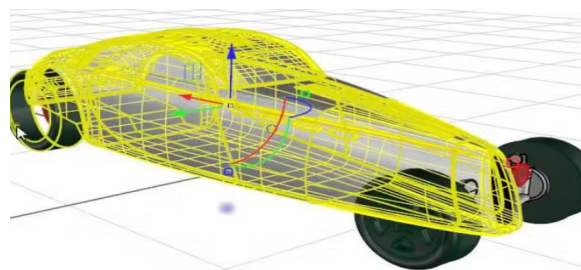
**Texturas:** Las texturas se utilizan para agregar detalles visuales a las superficies de los objetos en el modelo 3D. Estas texturas pueden incluir colores, patrones, imágenes o cualquier otra información visual que se aplique a la superficie de la malla. Las texturas son fundamentales para crear modelos realistas y visualmente atractivos.

**Curvas y Superficies:** Además de los polígonos y las mallas, el modelado 3D también puede implicar el uso de curvas y superficies para representar formas más complejas y suaves. Las curvas se utilizan para definir bordes suaves o contornos, mientras que las superficies se utilizan para crear formas más complejas, como esferas, cilindros o toroides. Dependiendo de los requerimientos específicos de la industria y del software utilizado, se emplean distintos enfoques de modelado 3D. A continuación, se describen algunos de los más utilizados:

**Modelado de cajas:** Este método es bastante común y se centra en las partes fundamentales de un objeto, como caras, aristas y vértices, construido a partir de primitivas. Es ideal para el diseño arquitectónico o la creación de objetos con superficies rígidas.

**Modelado de curvas:** Aquí, se genera una superficie tridimensional conocida como NURBS (Non Uniform Rational B-Splines). Al manipular los puntos de control, se pueden crear superficies curvas suaves y formas complejas. Se utiliza en el diseño de productos en diversas industrias.

Figura 29. Modelado de curva Nurbs

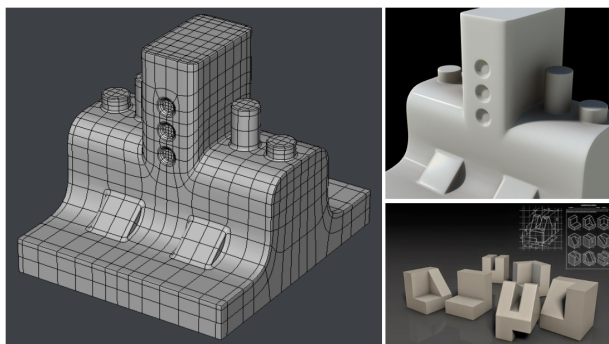


Fuente (Carranza, 2020)

**Modelado de polígonos:** El proceso comienza con un solo vértice o una figura geométrica plana, construyendo el modelo pieza por pieza. Aunque resulta en modelos más detallados, requiere un mayor trabajo

con bordes y vértices. Aunque también se emplea para crear superficies rígidas, este método tiende a producir modelos con formas más orgánicas.

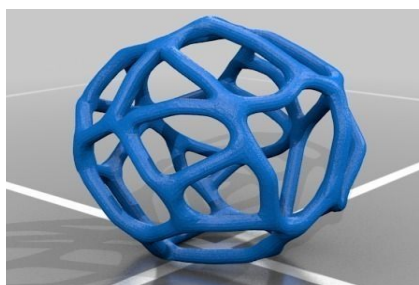
Figura 30. Modelado de polígonos



Fuente: (CGTrader, 2022)

**Modelado orgánico:** Este método comienza con un elemento base y utiliza una variedad de pinceles para modelar el objeto de forma libre y agregar detalles específicos. Es especialmente adecuado para el diseño de personajes y objetos orgánicos.

Figura 31. Modelado Orgánico



Fuente: (CGTrader, 2022)

Cada tipo de modelado 3D tiene sus propias características y aplicaciones específicas, y la elección depende del resultado deseado y del contexto del proyecto en cuestión.

### **ESTILOS DE MODELADO 3D:**

**Low Poly:** Se refiere a modelos con formas simples compuestas por un número reducido de polígonos. Estos modelos suelen tener colores sólidos y los detalles se incorporan directamente en la textura. Son ideales para aplicaciones donde se requiere eficiencia en el rendimiento, como juegos móviles o entornos de realidad virtual.

**Stylized Cartoon:** Este estilo se caracteriza por ser un poco más realista y detallado en comparación con el low poly, ya que utiliza una

mayor cantidad de polígonos. Los modelos en este estilo a menudo presentan un aspecto de caricatura, con formas exageradas y colores vibrantes. Se utilizan en la animación y la creación de personajes con un toque distintivo y estilizado.

**Realista:** En este estilo, el modelado se enfoca en lograr una alta calidad gráfica, prestando mucha atención a las texturas, la iluminación y la forma de los objetos. Los modelos realistas buscan reproducir fielmente la apariencia de los objetos en el mundo real, lo que los hace ideales para aplicaciones como visualización arquitectónica, efectos especiales en películas y publicidad.

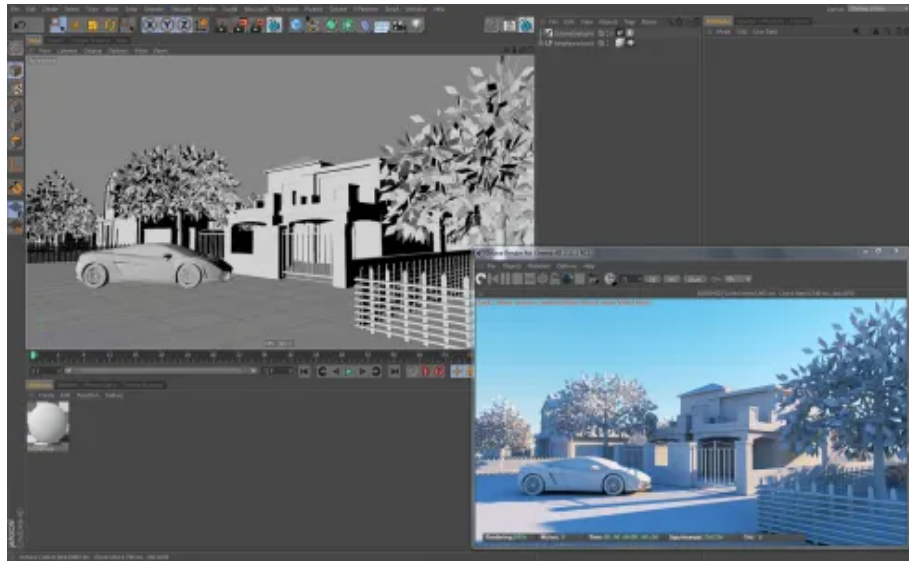
**Hiperrealismo:** Este estilo es una forma de modelado altamente detallada que busca replicar de manera casi exacta un objeto real. Los modelos hiperrealistas se distinguen por su nivel extremadamente alto de detalle, que incluye pequeñas imperfecciones y sutilezas. Se utilizan en campos donde la precisión y el realismo son esenciales, como la medicina, la ingeniería y el arte digital de alta gama.

## REPRESENTACIÓN DIGITAL:

La representación digital implica la creación de modelos tridimensionales que pueden ser visualizados y manipulados en un entorno virtual. Estos modelos pueden ser estáticos o dinámicos, y se utilizan para representar objetos físicos, estructuras arquitectónicas, paisajes, personajes animados y mucho más.

**Renderizado:** El renderizado es el proceso de generar imágenes a partir de modelos 3D mediante el cálculo de la iluminación, sombreado, texturas y otros efectos visuales. El renderizado crea imágenes realistas o estilizadas que pueden ser utilizadas para visualización, animación, diseño o cualquier otro propósito. Comúnmente, se emplean dos métodos de renderizado: mediante la CPU (Unidad Central de Procesamiento) y la GPU (Unidad de Procesamiento Gráfico). La CPU, se encarga principalmente de ejecutar secuencias de instrucciones y llevar a cabo procesamientos generales. Por otro lado, la GPU corresponde a la tarjeta gráfica instalada en la computadora, la cual se dedica a realizar procesamientos específicos, aliviando la carga de trabajo del procesador (CPU) en lo que respecta a tareas gráficas, tales como vectores, matrices, vértices y píxeles.

Figura 32. Render bajo Interfaz Cinema 4D



Fuente: (Domestika, 2019)

**Interacción:** La representación digital también implica la interacción con los modelos 3D mediante el uso de software de modelado y renderizado. Esta interacción puede incluir la manipulación directa de los modelos, la aplicación de transformaciones, la edición de propiedades y la navegación en entornos virtuales.

En resumen, el modelado 3D y la representación digital son aspectos fundamentales de la computación gráfica que permiten la creación y visualización de entornos y objetos tridimensionales en el mundo virtual. Estos conceptos son esenciales en una variedad de industrias y aplicaciones, desde el diseño de videojuegos y películas hasta la ingeniería de productos y la visualización arquitectónica.

### SOFTWARE DE MODELADO 3D

Algunas de las herramientas de software más utilizadas en esta área son:

**Autodesk Maya:** Es una de las herramientas de modelado y animación 3D más populares en la industria del entretenimiento. Ofrece una amplia gama de herramientas para modelado, animación, renderizado y simulación, lo que la hace ideal para la creación de personajes, entornos y efectos visuales.

**Blender:** Es un software de modelado 3D de código abierto y gratuito que ha ganado una gran popularidad en los últimos años. Blender ofrece una amplia variedad de herramientas para modelado, animación, texturizado, renderizado y composición, lo que lo convierte en una opción versátil para artistas y diseñadores.

**Autodesk 3ds Max:** Es otra herramienta popular utilizada en la industria del entretenimiento y el diseño. 3ds Max ofrece una amplia gama de herramientas para modelado, animación, renderizado y efectos especiales, lo que la hace ideal para la creación de modelos 3D, animaciones y visualizaciones arquitectónicas.

**Cinema 4D:** Es una herramienta de modelado, animación y renderizado 3D desarrollada por Maxon. Cinema 4D es conocida por su interfaz intuitiva y fácil de usar, así como por su potente conjunto de herramientas para modelado, animación y renderizado. Es ampliamente utilizada en la industria del cine, la televisión y el diseño gráfico.

**ZBrush:** Es una herramienta de modelado digital y escultura 3D utilizada principalmente en la creación de personajes y criaturas. ZBrush utiliza un enfoque basado en la escultura digital, lo que permite a los artistas esculpir modelos 3D con un alto nivel de detalle y realismo.

## INTEGRACIÓN DE DATOS Y METADATOS

En el contexto de la virtualización de objetos, los metadatos desempeñan un papel crucial al proporcionar información adicional y contextual sobre los objetos virtuales. Los metadatos son datos descriptivos que se utilizan para caracterizar y definir los objetos, lo que permite una mejor comprensión y gestión de los mismos. Aquí hay algunos aspectos clave sobre los metadatos en este contexto:

**Descripción del objeto:** Los metadatos pueden incluir información descriptiva sobre el objeto virtual, como su nombre, tamaño, forma, color, textura, y cualquier otra característica relevante. Esta descripción detallada ayuda a los usuarios a identificar y comprender el objeto de manera más efectiva.

**Origen y autoría:** Los metadatos pueden contener información sobre el origen y la autoría del objeto virtual, incluyendo detalles sobre quién lo creó, cuándo se creó, y cualquier otra información relacionada con su historia y procedencia. Esto es útil para rastrear la propiedad intelectual y la historia del objeto.

**Propiedades y atributos:** Los metadatos pueden proporcionar información sobre las propiedades y atributos del objeto virtual, como sus dimensiones, materiales, propiedades físicas, y cualquier otra característica técnica relevante. Estos datos son esenciales para simular con precisión el comportamiento y las interacciones del objeto en entornos virtuales.



**Relaciones y conexiones:** Los metadatos pueden describir las relaciones y conexiones del objeto con otros objetos virtuales, así como su posición, orientación y movimiento en el espacio virtual. Esto es fundamental para la integración y la interacción efectiva entre diferentes objetos en un entorno virtual.

**Uso y contexto:** Los metadatos pueden proporcionar información sobre el uso previsto y el contexto de uso del objeto virtual, incluyendo detalles sobre su función, aplicaciones potenciales, y cualquier otra información relevante para su uso y aplicación en entornos virtuales específicos.

Los metadatos son fundamentales para garantizar la precisión, la eficiencia y la efectividad de la virtualización de objetos en diversos campos, como la simulación, el diseño, la ingeniería y la visualización.

Figura 33. Representación de metadatos



Fuente: (Save4print, 2022)

## ESTANDARIZACIÓN DE METADATOS PARA OBJETOS FÍSICOS VIRTUALES

La estandarización de metadatos para objetos físicos virtuales es fundamental para garantizar la interoperabilidad, la consistencia y la eficiencia en el intercambio y la gestión de datos en entornos virtuales. Algunos aspectos importantes a considerar sobre la estandarización de metadatos para objetos físicos virtuales son:

**Normas y estándares:** Existen diversas normas y estándares establecidos por organizaciones como el International Organization for Standardization (ISO), el Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) y el World Wide Web Consortium (W3C) que definen la estructura y el formato de los metadatos para objetos físicos virtuales.

Estos estándares proporcionan pautas y directrices para la creación, el intercambio y la gestión de metadatos de manera coherente y uniforme.

**Modelado de metadatos:** La estandarización implica el desarrollo de modelos de metadatos comunes que describan los atributos, propiedades y relaciones de los objetos físicos virtuales de manera estandarizada. Estos modelos pueden basarse en lenguajes de modelado como el Resource Description Framework (RDF), el eXtensible Markup Language (XML) o el JSON-LD (JavaScript Object Notation for Linked Data).

**Ontologías y taxonomías:** Se utilizan ontologías y taxonomías para definir y organizar los conceptos y términos relacionados con los objetos físicos virtuales. Estas estructuras proporcionan un marco semántico que permite una mejor comprensión y clasificación de los metadatos, facilitando su búsqueda, recuperación y uso en diferentes contextos y aplicaciones.

**Interoperabilidad y compatibilidad:** La estandarización de metadatos promueve la interoperabilidad y la compatibilidad entre diferentes sistemas, plataformas y aplicaciones que gestionan objetos físicos virtuales. Esto facilita el intercambio de datos y la integración de sistemas, permitiendo que los usuarios accedan y utilicen la información de manera eficiente y sin problemas.

**Gestión del ciclo de vida:** Los metadatos estandarizados también pueden incluir información sobre el ciclo de vida de los objetos físicos virtuales, como su creación, modificación, uso y eliminación. Esta información es crucial para la gestión y el mantenimiento de los objetos virtuales a lo largo de su vida útil, garantizando su integridad, seguridad y disponibilidad en todo momento.

En síntesis, la estandarización de metadatos para objetos físicos virtuales es un proceso clave que ayuda a mejorar la interoperabilidad, la eficiencia y la calidad de los datos en entornos virtuales. Al adoptar normas y estándares comunes, las organizaciones pueden facilitar el intercambio de información y maximizar el valor de sus activos digitales en el contexto de la virtualización de objetos físicos.

Con la virtualización de objetos físicos apoyados con la IA se pueden efectuar propósitos de desempeño inteligentes en algunas áreas o sistemas del mundo real.

## GEMELOS DIGITALES

Es una tecnología fundamental en la virtualización del mundo físico ya que, proporcionan una representación digital precisa y detallada de objetos, sistemas y procesos del mundo real.

Se detallan algunas características de esta tecnología de virtualización de objetos físicos.

**Modelado y Simulación Precisa:** Los gemelos digitales utilizan datos del mundo real para crear modelos virtuales precisos de objetos físicos, sistemas y procesos. Estos modelos pueden incluir información detallada sobre la geometría, la estructura, el comportamiento y las interacciones de los objetos físicos, lo que permite simular y visualizar con precisión su funcionamiento en un entorno virtual.

**Monitoreo y Análisis Continuo:** Están conectados en tiempo real a sensores y dispositivos en el mundo físico, lo que permite monitorear y analizar continuamente el estado y el rendimiento de los objetos y sistemas físicos. Esto facilita la detección temprana de problemas, la predicción de fallos y la optimización de operaciones en tiempo real.

**Experimentación y Optimización:** Proporcionan un entorno seguro y controlado para experimentar con diferentes escenarios y condiciones del mundo real. Esto permite a los usuarios probar nuevas ideas, estrategias y soluciones de manera virtual antes de implementarlas en el mundo físico. Además, los gemelos digitales permiten optimizar el rendimiento y la eficiencia de los sistemas físicos mediante la simulación y el análisis de diferentes configuraciones y variables.

**Colaboración y Comunicación:** Facilitan la colaboración y la comunicación entre diferentes partes interesadas al proporcionar una representación común y compartida del mundo físico. Esto permite a los equipos de trabajo colaborar de manera más efectiva, compartir información y tomar decisiones informadas basadas en datos en tiempo real.

**Automatización y Control Inteligente:** Los gemelos digitales pueden integrarse con sistemas de control y automatización para realizar operaciones y procesos físicos de manera inteligente y autónoma. Esto permite optimizar la eficiencia, la productividad y la seguridad de los sistemas físicos mediante la automatización de tareas rutinarias, la optimización de recursos y la respuesta rápida a cambios y condiciones del entorno.

## **APLICACIONES Y CASOS DE USOS DE GEMELOS DIGITALES**

Los gemelos digitales están llevando a cabo la abstracción y modelado de diversos aspectos:

- Mejoran los procedimientos empresariales
- Reducen el riesgo al anticipar los posibles efectos
- Optimizan las eficiencias operativas
- Mejoran la toma de decisiones mediante análisis predictivos para anticipar resultados

## **REQUISITOS DE UN SISTEMA DE LUCHA INTELIGENTE CONTRA LOS INCENDIOS**

Actualmente, las técnicas convencionales de lucha contra incendios carecen de capacidad completa de medición y detección dinámicas. Es decir, presentan limitaciones en cuanto a la capacidad de medición y detección dinámicas, así como en la predicción. Además, no proporcionan información en tiempo real ni una visión completa de la interacción entre el personal y el entorno del incendio. Aunque algunas tecnologías de lucha contra incendios inteligentes ofrecen esquemas o mapas del escenario del incendio. De acuerdo con el Informe Estadístico Mundial sobre Incendios de la Asociación Internacional de Servicios Contra Incendios y de Rescate (CTIF), se estima que cada año los incendios causan aproximadamente 40.000 muertes y 50.000 heridos en todo el mundo.

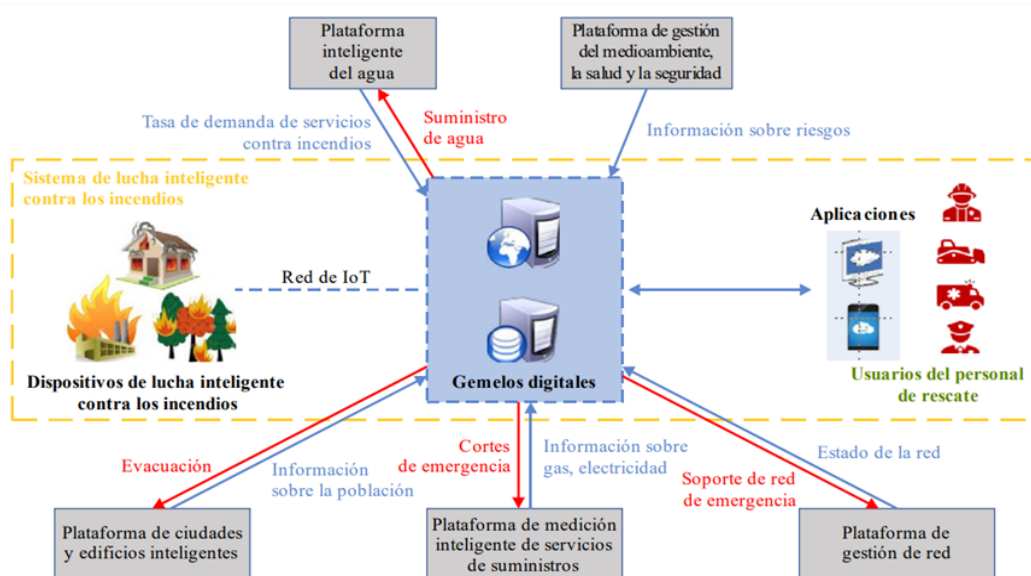
Con el objetivo de reducir el número de víctimas, los organismos encargados de combatir incendios en diferentes países se han centrado en desarrollar sistemas de extinción de incendios que mejoren tanto la seguridad de los bomberos como la eficacia de los servicios de emergencia. Los ingenieros del área de protección contra incendios han dependido durante mucho tiempo de las simulaciones de dinámica de fluidos computacional (CFD) para predecir la propagación del fuego y el humo en estructuras complejas, como aeropuertos o centros comerciales con amplias instalaciones. Estas simulaciones son esenciales para desarrollar estrategias de protección contra incendios en proyectos que siguen un enfoque de diseño basado en el desempeño, donde los requisitos del edificio van más allá de las normativas tradicionales. Sin embargo, estas simulaciones de CFD consumen tiempo y recursos considerables, lo que dificulta que los evaluadores puedan analizar múltiples diseños para obtener un rendimiento óptimo.

Para abordar este desafío, los investigadores están trabajando en nuevos sistemas impulsados por IA que, a diferencia de los enfoques estáticos utilizados en las simulaciones tradicionales, estos sistemas de IA pueden

aprender y mejorar su precisión con el tiempo, basándose en las experiencias y datos recopilados en cada iteración. Una vez que los modelos están entrenados, los ingenieros simplemente necesitan ingresar parámetros específicos, como las dimensiones del edificio, el tamaño del incendio y el tipo de combustible, y pueden obtener resultados casi instantáneamente. Esto representa la funcionalidad de los gemelos digitales en la lucha eficiente contra incendios.

Se muestra esquema conceptual de gemelo digital para combatir incendios.

Figura 34. Diagrama conceptual general de un gemelo digital en la lucha contra los incendios



Fuente: (UIT Rec. Y.4601, 2021)

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) define a un gemelo digital como una representación digital, o réplica digital, de un objeto que reviste interés y, en función de los ámbitos específicos de aplicación, puede ser necesario que disponga de diferentes capacidades, como la sincronización entre el objeto y su representación digital o el funcionamiento en tiempo real. (UIT Rec. Y.4601, 2021). En la recomendación UIT-Y.4621 se define los requisitos y el marco de capacidades se basan en el modelo de referencia de la IoT [UIT-T Y.4000] y los requisitos comunes de la IoT [UIT-T Y.4100]. Están centrados en los aspectos técnicos de los gemelos digitales para la lucha contra los incendios.

Un gemelo digital diseñado para combatir incendios emplea datos del propio escenario del fuego para su análisis, simulación y modelado, con el fin de proporcionar una representación digital exhaustiva del estado

pasado, actual y futuro de dicho escenario. Este sistema integra diversas tecnologías autónomas en un sistema global unificado. Así el gemelo digital se encarga de recopilar y gestionar datos ambientales, datos del personal en intervención y datos provenientes de otras plataformas. Esto permite asistir a los bomberos en la mejora del entendimiento de la situación, la comprensión del entorno del incendio y el fortalecimiento de las capacidades del servicio de extinción de incendios.

Entre los servicios proporcionados por este gemelo digital se encuentran, el monitoreo del personal, la vigilancia de riesgos, el análisis del escenario del incendio, la optimización de las estrategias de rescate, la simulación anticipada y la recreación histórica del escenario. Para este cometido existe una red que establece una interacción entre diversos dispositivos sensores y los gemelos digitales para la lucha contra incendios. Así en un escenario real, los sensores recolectan datos sobre el estado del entorno, tales como temperatura, ubicación, concentración de O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> y velocidad del viento, así como también pueden registrar las constantes vitales del personal en acción (sensores corporales monitorean al personal de intervención) y a través de una pasarela o gateway se realiza la conexión con el gemelo digital.

Los gemelos digitales pueden adquirir información, como la demanda de servicios de extinción de incendios, datos sobre riesgos, información demográfica, datos sobre gas y estado de la red, contribuyendo así a la formulación de estrategias de rescate. También pueden solicitar servicios de emergencia a otras plataformas, como suministro de agua, evacuaciones, cortes de energía de emergencia y soporte para la red de emergencia.

## **REQUISITOS DE UN SISTEMA INTELIGENTE CONTRA INCENDIOS**

En sistemas de lucha inteligente contra incendios se definen sus requisitos:

### **REQUISITOS PARA LOS DISPOSITIVOS:**

A nivel general todos los dispositivos deben ser capaces de comunicar su estado y los datos recolectados tanto a los dispositivos móviles del equipo de rescate como al gemelo digital (UIT Rec. Y.4601, 2021). Se recomienda que todos los dispositivos puedan realizar autodiagnósticos y autocalibraciones para asegurar su correcto funcionamiento.

Se detallan requerimientos específicos:

## **DISPOSITIVOS SENSORES:**

- Los sensores ambientales deben recopilar información actualizada sobre el estado del incendio, incluyendo aspectos como la ubicación geográfica, la temperatura, la intensidad y trayectoria del fuego. Además de recolectar información del entorno, como la velocidad y dirección del viento, la temperatura ambiente y las condiciones climáticas.
- Los sensores deben ser capaces de detectar gases tóxicos, humo y llamas impulsadas por el viento que puedan representar un riesgo para las personas en el área afectada por el incendio. Deben recoger datos sobre la concentración de gases peligrosos (CO<sub>2</sub>/CO) y sensores como extensómetros captar cambios en la longitud, forma o deformación de un material debido a la exposición al calor del fuego. Esto sería respuestas estructurales como la deformación geométrica y la fusión de materiales.
- Los sensores deben también monitorear la ubicación y el movimiento del personal de intervención en el escenario del incendio, utilizando tecnologías como redes inalámbricas de alta velocidad y cámaras de supervisión. Es importante que los sensores estén distribuidos de manera que cubran todo el entorno afectado por el incendio.
- Los sensores corporales deben recopilar datos de los bomberos, como sus signos vitales y parámetros ambientales relacionados con su salud, y transmitir esta información a todos los bomberos y centros de gestión.

## **DISPOSITIVOS MÓVILES:**

- Los dispositivos móviles deben admitir múltiples interfaces de entrada, incluyendo botones físicos y reconocimiento de voz automático.
- Permitir la visualización de vídeo e imágenes, el almacenamiento de datos, la conexión a redes, la representación de modelos tridimensionales (3D), la descarga de aplicaciones y la capacidad de actualización.

## **DISPOSITIVOS DE PASARELA:**

Estos dispositivos deben ser capaces de soportar o conectarse a una red aislada, pudiendo opcionalmente admitir segmentación de red o utilizar separación física para evitar interferencias desde redes públicas (UIT Rec. Y.4601, 2021).

## **REQUISITOS PARA LA RED:**

Los requisitos de red incluyen:

- Mantener la red aislada de la red pública, con opciones como el aislamiento físico y tecnologías de segmentación como Redes definidas por software (SDN, Software Defined Network) y la virtualización de funciones de red (NFV, Network Functions Virtualization).
- Proporcionar datos de ubicación como el indicador de intensidad de la señal recibida (RSSI, Received Signal Strength Indicator) el tiempo de llegada (TOA, Time of Arrival), desplazamiento de frecuencia y fase para el cálculo de la posición del dispositivo.

## **REQUISITOS PARA LOS GEMELOS DIGITALES**

Los requisitos generales de los gemelos digitales para el sistema son:

- Localizar y monitorear dispositivos en tiempo real, como la posición de los bomberos, proporcionando alertas en situaciones de riesgo.
- Soportar navegación en interiores y exteriores, monitoreo de la salud de los bomberos, almacenamiento seguro de información y compartir datos relevantes con personal implicado para una respuesta efectiva.
- Preprocesamiento de datos antes de la modelización y la simulación, incluida la depuración y el análisis de datos.

### **1. Modelización de múltiples ámbitos físicos**

- Modelar la arquitectura, topografía y propiedades químicas y físicas de elementos peligrosos, así como propiedades del entorno como la geometría, el peso, la estructura y las propiedades físicas y químicas de los materiales, equipos de los bomberos, etc.
- Se sugiere crear una representación del escenario de incendio para ofrecer una visualización clara del escenario del incendio en beneficio de los equipos de intervención y apoyo.

### **2. Simulación de múltiples ámbitos físicos**

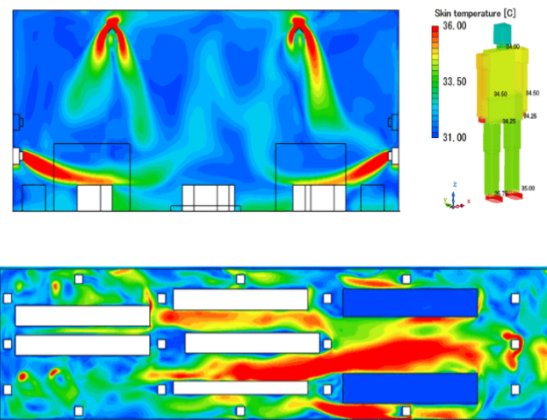
- Debe permitir la simulación analítica del incendio utilizando datos de la red de sensores.
- Deben realizarse predicciones sobre la evolución del incendio, incluyendo respuesta estructural, intensidad y trayectorias del fuego.
- La simulación de estrategias de emergencia y la creación de escenarios virtuales también son necesarias.



### 3. Visualización

- Se requiere la representación tridimensional y bidimensional de la arquitectura y topografía del entorno.
- La visualización de personal, dispositivos, peligros y entorno a través de una interfaz gráfica es esencial.
- La interacción física entre objetos y entorno, navegación y localización, así como la estrategia de optimización, deben ser visualizadas.
- Compatibles con múltiples modos de entrada/salida y comunicación para facilitar la operatividad y la comunicación entre el personal de intervención.

Figura 35. Simulación y análisis de sistemas de calefacción, ventilación



Fuente: (ICEEM, 2022)

### REQUISITOS PARA LAS APLICACIONES

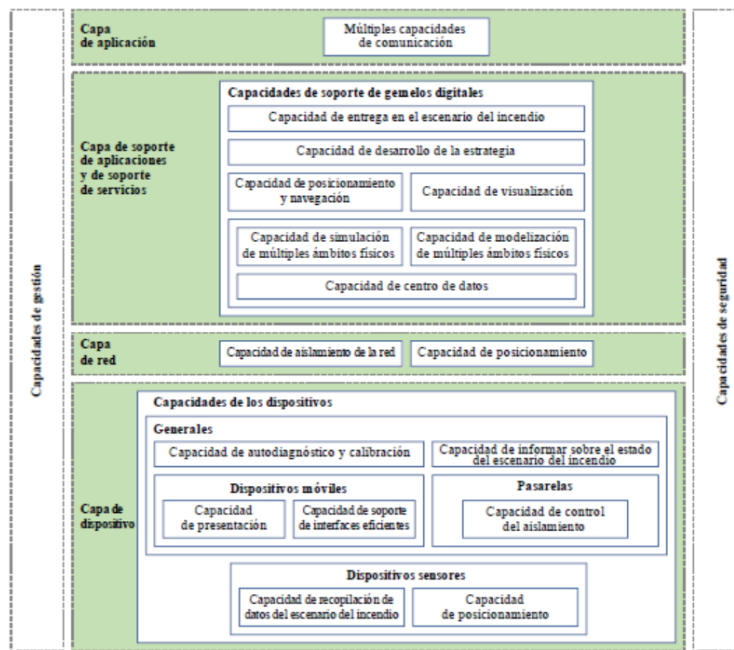
Los requerimientos de las aplicaciones son los siguientes:

- Deben ser compatibles con diversos modos de entrada/salida, lo que podría reducir la cantidad de pasos necesarios para su funcionamiento.
- Deben admitir múltiples formas de comunicación para facilitar la interacción entre el personal de intervención relevante.

### CAPACIDADES PARA SISTEMA CONTRA INCENDIO

Este marco de capacidades consta de cuatro capas y dos grupos transversales de capacidades (UIT Rec. Y.4601, 2021).

Figura 36. Capacidades de un sistema de lucha inteligente contra los incendios



Fuente: (UIT Rec. Y.4601, 2021)

Además de las capacidades estándar de la IoT definidas en la recomendación UIT-T Y.4401. El sistema de combate contra incendios requiere habilidades adicionales o expandidas, estas se detallan a continuación.

## CAPACIDADES DE LA CAPA DE DISPOSITIVO

### CAPACIDAD DE AUTODIAGNÓSTICO Y CALIBRACIÓN:

Esta capacidad asegura el funcionamiento adecuado de los dispositivos mediante:

- La ejecución de autodiagnósticos y autocalibración basados en algoritmos almacenados o con soporte de la capa de soporte de servicios y de aplicaciones (SSAS, Service Support and Application Support).
- Realizar autodiagnósticos automáticos y periódicos analizando el estado de los dispositivos y detectando anomalías.

### CAPACIDAD DE INFORMAR SOBRE EL ESTADO DEL ESCENARIO DEL INCENDIO:

Esta capacidad comunica datos esenciales a otras para ayudar a entender el estado de los dispositivos, incluyendo:

- Permitir a los dispositivos enviar datos del escenario del incendio al gemelo digital y a los dispositivos móviles del equipo de intervención.
- Permitir a los dispositivos informar sobre mal funcionamiento del escenario del incendio y resultados de calibración al centro de datos.

## DISPOSITIVOS SENSORES:

### 1. CAPACIDAD DE RECOPIACIÓN DE DATOS DEL ESCENARIO DEL INCENDIO:

Debe permitir a los dispositivos monitorizar y recopilar información en el escenario del incendio, incluyendo:

- Información ambiental como dirección del viento, temperatura y condiciones meteorológicas.
- Estado del incendio como distribución de temperatura, longitud de llamas y energía liberada.
- Recopilación de información del escenario del incendio relacionada con los efectos del mismo, como la concentración de gases peligrosos ( $\text{CO}_2$ / $\text{CO}$ /cianuro de hidrógeno), y las respuestas estructurales a partir de la medición de las inclinaciones, la medición de la presión, la medición dinámica de la compresión, la medición de la vibración, la temperatura, el flujo magnético, etc. (UIT Rec. Y.4601, 2021).

En la figura 37 se simula la trayectoria de gases o humos por incendio en una zona urbana.

Figura 37. Simulación de propagación de humo de un incendio



Fuente: (Jiao, Hardesty-Lewis, & Seong, 2023)

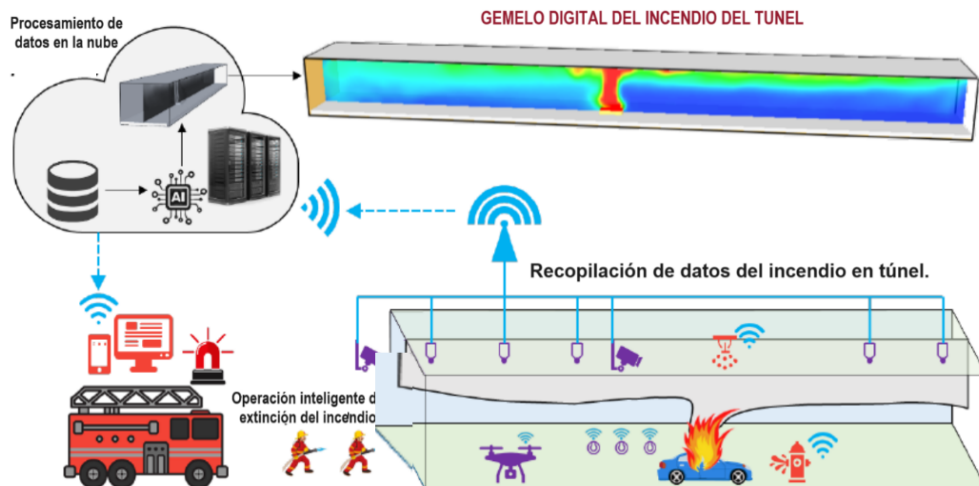
- Información de efectos de estrategia de rescate como concentración de partículas (partes por millón) y humedad.
- Recopilar los signos vitales de integrantes del equipo de rescate como oxígeno en sangre y ritmo cardíaco.

### 2. CAPACIDAD DE POSICIONAMIENTO:

- Permite a los dispositivos detectar posiciones y movimientos basados en principios físicos y coordenadas almacenadas del centro de

datos. En la figura 38 se representa la operación de un gemelo digital cuando existe presencia de fuego en interior de un túnel vial.

Figura 38. Propuesta de Gemelo digital monitorea el comportamiento del fuego en un túnel



Fuente: (Huang, Xiqiang, Zhang, & Usmani, 2022)

Nota: El gemelo digital puede monitorear el comportamiento del incendio en tiempo real, pronosticar la evolución del incendio mediante AI y respaldar operaciones de extinción de incendios inteligentes.

### 3. CAPACIDAD DE FILTRADO DE FALSAS ALARMAS:

- Permite a los dispositivos retrasar alarmas de incendio intencionalmente antes de verificar el estado.
- Cuando se detecta una situación fuera de lo común, los sensores se conectan con los sensores del entorno para verificar la veracidad de la alarma de incendio. Si la presencia de fuego es confirmada por los dispositivos, se activará una alarma de incendio de inmediato. En caso contrario, los sensores deben enviar el registro de la alarma de incendio junto con los resultados de autodiagnóstico, autocalibración y datos ambientales al gemelo digital para una segunda evaluación.

### DISPOSITIVOS MÓVILES

#### CAPACIDAD DE PRESENTACIÓN:

- Esta capacidad permite que los dispositivos móviles de los bomberos exhiban información en diversos formatos como texto, audio, imagen o vídeo.

#### CAPACIDAD DE SOPORTE DE INTERFACES EFICIENTES:

Debe permitir una interacción eficiente entre equipos de rescate y el sistema de combate inteligente contra incendios. Incluye:

- Soporte para entrada/salida por voz.
- Facilidad para ingresar imágenes y vídeos.
- Compatibilidad con entrada mediante teclas físicas.

### **PASARELAS:**

#### **CAPACIDAD DE CONTROL DEL AISLAMIENTO:**

Esta capacidad permite a las pasarelas apoyar tecnologías de aislamiento de red, como segmentación de red, filtrado de paquetes y cortafuegos diversos.

#### **CAPACIDADES DE LA CAPA DE RED:**

##### **1. CAPACIDAD DE AISLAMIENTO DE LA RED:**

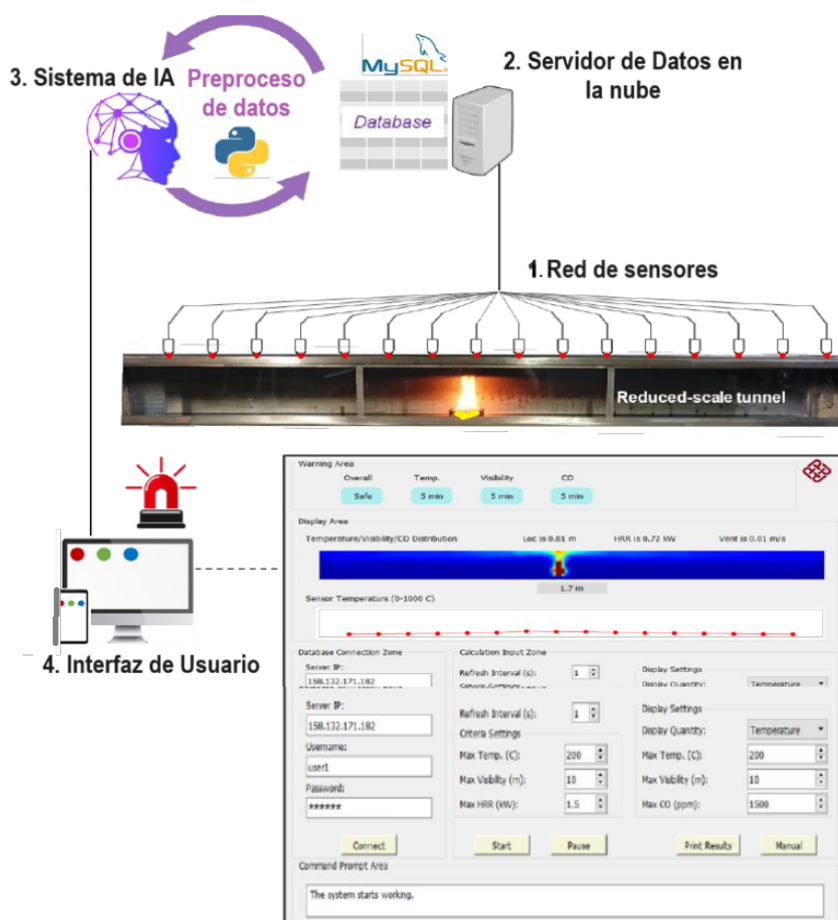
Esta capacidad permite aislar las redes de la red pública utilizando métodos como cortafuegos, conmutadores virtuales, VLAN y aislamiento físico.

##### **2. CAPACIDAD DE POSICIONAMIENTO:**

Permite a la red usar métodos adecuados de transmisión de datos y tratamiento de señales para comunicar información del punto de acceso al gemelo digital, como ubicación, frecuencia, hora de llegada de la señal y RSSI.

Para demostrar una propuesta de Gemelo Digital en combate de incendios para un túnel, se prueba un modelo a escala del túnel con redes de sensores y un motor de IA entrenado, (figuras. 38 y 39). En figura 39 se muestra un ejemplo de generación de reporte por parte del gemelo digital.

Figura 39. Reporte de estado en túnel vial con fuego



Fuente: (Huang, Xiqiang, Zhang, & Usmani, 2022)

Nota: El modelo, a 1/50 de escala, tiene dimensiones de 1,7 m de longitud, 0,14 m de alto y 0,17 m de ancho. Las paredes, el techo y el suelo son de acero de 3 mm. Las condiciones y parámetros son similares al modelo reducido, incluyendo la ubicación y tamaño del incendio, así como la ventilación, basado en el análisis del número de Froude.

## CAPACIDADES EN CAPA DE SOPORTE DE APLICACIONES:

### 1. CAPACIDAD DE CENTRO DE DATOS:

Esta capacidad facilita el control de datos entre diferentes dispositivos, redes y aplicaciones, y procesa los datos antes de su modelización o simulación. Incluye:

- Monitoreo en tiempo real del estado y configuración de dispositivos y redes.
- Supervisión de datos ambientales provenientes de sensores.
- Recopilación de datos de otras plataformas o servidores conectados.
- Envío de comandos a otras plataformas o servidores conectados para apoyo de servicios de emergencia.
- Preparación de datos en bruto y validación de su exactitud.

## **2. CAPACIDAD DE SIMULACIÓN DE DIVERSOS ASPECTOS FÍSICOS:**

Esta habilidad analiza los datos del escenario de incendio mediante simulaciones matemáticas de interacciones físicas y químicas. Incluye:

- Procesamiento de datos mediante ecuaciones estadísticas y de probabilidad.
- Utilización de modelos y teorías físicas y/o químicas, como termodinámica, aerodinámica, mecánica, toxicología, fisiología humana, química y ciencia de materiales.
- Procesamiento matemático para simular interacciones entre efectos de fuerzas reales, que abarcan análisis de elementos finitos y teoría del funcional de densidad.

## **3. CAPACIDAD DE MODELIZACIÓN DE DIVERSOS ASPECTOS FÍSICOS:**

Permite al soporte de gemelos digitales para lucha contra incendios construir modelos de escenarios reales, pasados y potenciales de incendios, incluyendo:

- Creación de modelos descriptivos 2D/3D de personas, equipos, dispositivos y estructuras en escenarios de incendios.
- Construcción de modelos físicos y/o químicos 3D de personas, equipos, dispositivos y entornos, relacionados con principios y mecanismos, y propiedades de materiales.

## **4. CAPACIDAD DE VISUALIZACIÓN:**

Permite al soporte de gemelos digitales visualizar modelos, datos y resultados de simulaciones, incluyendo:

- Representación visual de propiedades del escenario de incendio y objetos/personas en él.
- Exhibición de resultados de simulaciones en presentaciones básicas para facilitar la interpretación de datos complejos.
- Visualización de efectos de estrategias de rescate y movimientos de equipos de rescate y víctimas.

## **5. CAPACIDAD DE POSICIONAMIENTO Y NAVEGACIÓN:**

Permite al soporte de gemelos digitales monitorear ubicación y movimiento de objetos, y brindar orientación de navegación, incluyendo:

- Obtención de información sobre ubicación del personal, dispositivos, incendio, peligros y equipos, y seguimiento en tiempo real.
- Orientación de desplazamientos de equipos de intervención según evolución prevista del escenario de incendio.
- Planificación y búsqueda de rutas óptimas en función del estado del escenario de incendio en tiempo real.

## **6. CAPACIDAD DE DESARROLLO Y OPTIMIZACIÓN DE ESTRATEGIAS:**

Esta capacidad se encarga de crear y perfeccionar las estrategias de rescate, abordando aspectos como:

- Diseño de tácticas de rescate, incluyendo ingreso y salida de rescatistas, secuencia de intervenciones y equipos transportados para minimizar las víctimas.
- Evaluación de posibles impactos de las estrategias propuestas.
- Clasificación de estrategias según efectos anticipados, como tiempo requerido, número probable de víctimas, pérdida de recursos y tasa de éxito, seleccionando las óptimas según criterios específicos.
- Integración de valores óptimos de efectos anticipados y experiencias previas en rescates para optimizar las estrategias.

## **7. CAPACIDAD DE ENTREGA EN EL LUGAR DEL INCENDIO:**

Esta capacidad consiste en enviar datos, instrucciones y comandos a dispositivos y personal relevante, incluyendo:

- Emitir alarmas cuando los equipos de rescate se aproximen a áreas peligrosas o potencialmente peligrosas.
- Alertar cuando los signos vitales del equipo de rescate estén cerca de umbrales críticos.
- Envío de comandos y estrategias a los equipos de rescate basados en los resultados simulados de múltiples aspectos físicos.
- Enviar solicitudes a otras plataformas conectadas oportunamente para transmitir instrucciones según la situación del incendio.



## CAPACIDADES DE LAS APLICACIONES:

Estas capacidades permiten a los miembros del equipo de rescate comunicarse entre sí y con la plataforma de soporte del gemelo digital de varias maneras, como:

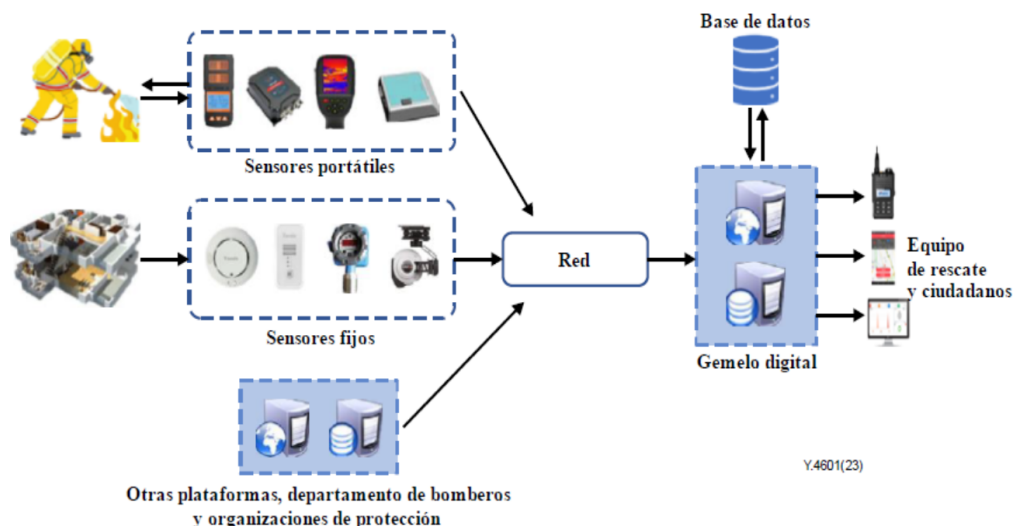
- Soporte para reconocimiento automático de voz.
- Facilidades para llamadas individuales, grupales y de difusión entre los miembros del equipo de rescate y la plataforma de soporte del gemelo digital.

## CASO: RESPUESTA INTELIGENTE CONTRA INCENDIOS

La supervisión del escenario del incendio se realiza mediante el uso de sensores y una red por parte del gemelo digital para la lucha inteligente contra incendios. Este proceso implica la recopilación de datos sobre el entorno y las posiciones. Posteriormente, la plataforma utiliza una arquitectura predefinida o un modelo topológico para representar visualmente la información ambiental y de posición en el modelo, reflejando así el estado actual del incendio de manera intuitiva.

Los sensores portátiles recopilan datos como la ubicación, las constantes vitales y la información del entorno del equipo de rescate, mientras que los sensores fijos recopilan información sobre gases peligrosos, temperaturas, humo, estructuras del entorno y la posición de las personas. Esta información se transmite al gemelo digital a través de la red, que luego la integra con el modelo predefinido de la arquitectura o topología para visualizar el escenario del incendio. Esto permite que el departamento de bomberos y el equipo de rescate estén al tanto de la situación en el lugar del incendio.

Figura 40. Supervisión de la situación del fuego



Fuente: (UIT Rec. Y.4601, 2021)

## **ESTRATEGIAS DE RESCATE Y FORMACIÓN**

Una vez que el gemelo digital ha recopilado la información del escenario del incendio, la asocia con el modelo predefinido del entorno para supervisar el desarrollo del incendio. Utilizando la modelización y la simulación de múltiples aspectos físicos, se construye un escenario virtual de los incidentes provocados por el fuego, proporcionando así información sobre los efectos de estos incidentes y otros peligros para el personal de intervención en el lugar del incendio. Conjuntamente, el gemelo digital anticipa la evolución del escenario del incendio para el personal de rescate, ayudándoles a evitar posibles riesgos derivados de la topografía o los cambios estructurales del incendio. Por ejemplo, la simulación puede predecir que el fuego se propagará a otras áreas en un período específico y con qué intensidad afectará a ciertas zonas, lo que alerta al equipo de intervención sobre los posibles riesgos y límites de tiempo para el rescate.

El gemelo digital desarrolla estrategias de rescate basadas en la simulación en tiempo real y las previsiones futuras, ofreciendo múltiples opciones al equipo de rescate. Sin embargo, solo se envían las estrategias más efectivas, evaluadas en función del tiempo necesario, posibles víctimas, pérdida de activos y probabilidad de éxito. Además, la simulación se puede emplear en la formación de los alumnos rescatistas proporcionando las experiencias de situaciones de emergencia en un entorno seguro y controlado. Esta simulación se basa en datos de incendios históricos y escenarios realistas posibles, ofreciendo una práctica de gran importancia.

En fin, los gemelos digitales proporcionan un contexto más amplio para resolver también desafíos empresariales, estableciendo relaciones y simplificando flujos de trabajo. Se da breve ejemplo de más campos de aplicaciones.

### **Diseño y Fabricación**

- Uso de objetos físicos virtuales en el diseño de productos
- Simulación y prototipado virtual en la fabricación

### **Arquitectura y Construcción**

- Modelado y visualización de edificaciones en entornos virtuales
- Análisis de seguridad, eficiencia energética y planificación urbana

### **Medicina y Salud**

- Digitalización de órganos y tejidos para la planificación de cirugías
- Simulación de procedimientos médicos y formación de profesionales de la salud

### **Entretenimiento y Educación**

- Creación de mundos virtuales y experiencias inmersivas
- Aplicaciones educativas en museos, aulas y entornos de aprendizaje

### **DESAFÍOS Y CONSIDERACIONES**

El intercambio de datos entre organizaciones y sectores sigue siendo un desafío en el ámbito de los datos geoespaciales, especialmente cuando se requiere compartir y sincronizar datos adicionales (y modelos de simulación), como lo promete un Gemelo Digital. El persistente problema de la interoperabilidad se hace más evidente: ¿cómo pueden desarrollarse estándares que unifiquen datos de distintos dominios, con niveles de detalle y resoluciones temporales diversos? Esto implica no solo la armonización y alineación de estándares a un nivel conceptual, sino también estándares que sean efectivos en la práctica, los cuales limitarían la flexibilidad que ofrecen los estándares actuales como, CityGML (City Geography Markup Language) para SIG e IFC (Industry Foundation Class) para BIM pues están desconectadas por sus enfoques de modelado, herramientas de software.

Se debe buscar una única manera de representar tanto la semántica como las geometrías de una característica específica, además de conversiones de alta calidad. Estas soluciones estandarizadas apoyarían aplicaciones de GeoBIM, como los flujos de trabajo de permisos de construcción, donde un diseño puede ser verificado automáticamente en relación con las normas de planificación y su entorno.

Hoy en día, la virtualización de objetos físicos, que implica la creación de modelos digitales 3D a partir de objetos reales, es una práctica cada vez más común en campos como la ingeniería, la arquitectura, la medicina y el entretenimiento. Sin embargo, esta práctica no está exenta de riesgos potenciales que deben abordarse para garantizar la precisión, la seguridad y la efectividad de los modelos virtuales resultantes.

### **RIESGOS PRINCIPALES:**

#### **INEXACTITUD EN LA REPRESENTACIÓN:**

Uno de los principales riesgos es la posibilidad de que los modelos virtuales no reflejen con precisión las características físicas de los objetos reales. Esto puede deberse a errores de escaneo, problemas de

calibración o limitaciones técnicas de los dispositivos de captura de datos.

### **PÉRDIDA DE DATOS Y CORRUPCIÓN:**

Durante el proceso de virtualización, existe el riesgo de pérdida de datos o corrupción de la información recopilada. Esto puede ocurrir debido a fallos técnicos, errores humanos o problemas de almacenamiento de datos.

### **VULNERABILIDADES DE SEGURIDAD:**

Los modelos 3D generados pueden contener información sensible o confidencial sobre los objetos físicos, como detalles de diseño, propiedades materiales o información de ubicación. Esto los hace susceptibles a vulnerabilidades de seguridad, como el acceso no autorizado, la manipulación de datos o el robo de información.

### **LIMITACIONES TECNOLÓGICAS:**

Las herramientas y tecnologías utilizadas para la virtualización pueden tener limitaciones en términos de precisión, resolución, capacidad de procesamiento o compatibilidad con diferentes tipos de objetos físicos. Estas limitaciones pueden afectar la calidad y la utilidad de los modelos virtuales resultantes.

### **INTERPRETACIÓN ERRÓNEA DE LOS RESULTADOS:**

Existe el riesgo de que los usuarios interpreten incorrectamente los datos o los resultados proporcionados por los modelos virtuales, lo que puede llevar a decisiones erróneas o acciones inapropiadas en el mundo real.

### **MEDIDAS DE MITIGACIÓN:**

Al tomar medidas adecuadas para mitigar estos riesgos, se puede garantizar que los modelos virtuales sean herramientas seguras y efectivas para una variedad de aplicaciones en diferentes campos industriales y científicos. Se plantean los siguientes pasos:

### **VALIDACIÓN Y VERIFICACIÓN:**

Realizar pruebas rigurosas y comparaciones con los objetos físicos reales para validar la precisión y la fiabilidad de los modelos virtuales.

### **SEGURIDAD DE LOS DATOS:**

Se deben implementar medidas de seguridad adecuadas para proteger los modelos 3D y los datos asociados de accesos no autorizados o pérdida accidental.

### **MEJORA CONTINUA DE LA TECNOLOGÍA:**

Se deben buscar constantemente mejoras en las técnicas de captura de datos, algoritmos de procesamiento y herramientas de modelado para aumentar la precisión y la eficacia de la virtualización.

### **EDUCACIÓN Y ENTRENAMIENTO:**

Los usuarios deben recibir capacitación adecuada sobre cómo interpretar y utilizar correctamente los modelos virtuales, así como sobre los posibles riesgos asociados a su uso. Protección de datos sensibles y medidas de seguridad.

En el siguiente capítulo se detallan otras tecnologías catalogadas como disruptivas que integran el IoT con objetos del mundo físico y mundo de la información.

**CAPITULO 3:**  
**OTRAS TECNOLOGÍAS DISRUPTIVAS EN EL IOT**

En el ámbito de IoT hay varias tecnologías disruptivas que están transformando la manera en que interactuamos con el mundo físico y digital. Algunas de las más importantes son la Inteligencia Artificial (AI, Artificial Intelligence), Edge Computing (EC), Blockchain (BK), IoT, Realidad Virtual y Realidad Aumentada.

## INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Su objetivo es crear sistemas que puedan simular el pensamiento humano, tomar decisiones autónomas y aprender de la experiencia. Esto se logra mediante el uso de algoritmos y modelos matemáticos que permiten a las máquinas procesar grandes cantidades de datos, reconocer patrones y tomar decisiones basadas en esos datos.

La AI se divide en varias subáreas, como el aprendizaje automático (ML, Machine Learning), que se centra en el desarrollo de algoritmos que permiten a las máquinas aprender de los datos; el procesamiento del lenguaje natural, que se ocupa de la interacción entre las computadoras y el lenguaje humano; y la visión por computadora, que se refiere al desarrollo de sistemas que pueden interpretar y comprender la información visual.

Figura 41. Representación gráfica generada por la Inteligencia Artificial



Fuente: (Runway ML, 2024)

Nota: A través de Runway ML se ha generado la figura 41, en el prompt se digitó en inglés -último párrafo-

La AI y el ML están potenciando las capacidades de los sistemas IoT al permitirles analizar grandes cantidades de datos en tiempo real y tomar

decisiones inteligentes de forma autónoma. Esto habilita, aplicaciones como el mantenimiento predictivo, la optimización de la energía, la gestión del tráfico y la personalización de servicios.

Se detallan algunas formas en las que la AI está cambiando nuestras vidas:

**Automatización de tareas repetitivas:** La IA está permitiendo la automatización de tareas rutinarias y repetitivas en diversos campos, liberando a los humanos para centrarse en tareas más creativas y estratégicas. Esto no solo aumenta la eficiencia, sino que también permite un mejor uso de los recursos humanos.

**Asistencia en la toma de decisiones:** Los sistemas de AI pueden analizar grandes cantidades de datos de manera rápida y eficiente para proporcionar información valiosa que puede respaldar la toma de decisiones. Desde la atención médica hasta las finanzas, puede ayudar a identificar patrones, predecir resultados y sugerir cursos de acción óptimos.

**Personalización y recomendaciones:** Los algoritmos de AI pueden analizar el comportamiento pasado y las preferencias individuales para ofrecer recomendaciones personalizadas en áreas como el entretenimiento, las compras en línea y la educación. Esto puede mejorar significativamente la experiencia del usuario y aumentar la satisfacción del cliente.

**Desarrollo de nuevas herramientas y servicios:** Impulsa la creación de nuevas herramientas y servicios que antes eran impensables. Por ejemplo, la conducción autónoma está revolucionando el transporte, mientras que los chatbots están transformando la atención al cliente en línea.

**Capacidad de aprendizaje y adaptación:** Una de las características más poderosas de la AI es su capacidad para aprender y adaptarse. Sus sistemas pueden mejorar continuamente su rendimiento a medida que obtienen más datos y retroalimentación, lo que les permite mantenerse al día con los cambios en el entorno y las necesidades del usuario.

**Creación de nuevas oportunidades laborales:** Si bien puede automatizar algunas tareas, también está creando nuevas oportunidades laborales en campos relacionados con la AI, como la ciencia de datos, el aprendizaje automático y la ingeniería de sistemas. Además, está fomentando la colaboración entre humanos y máquinas en el lugar de trabajo.



## CLASIFICACIÓN DE LA AI

Una clasificación ampliada de la inteligencia artificial, incluyendo el aprendizaje automático (subcategoría):

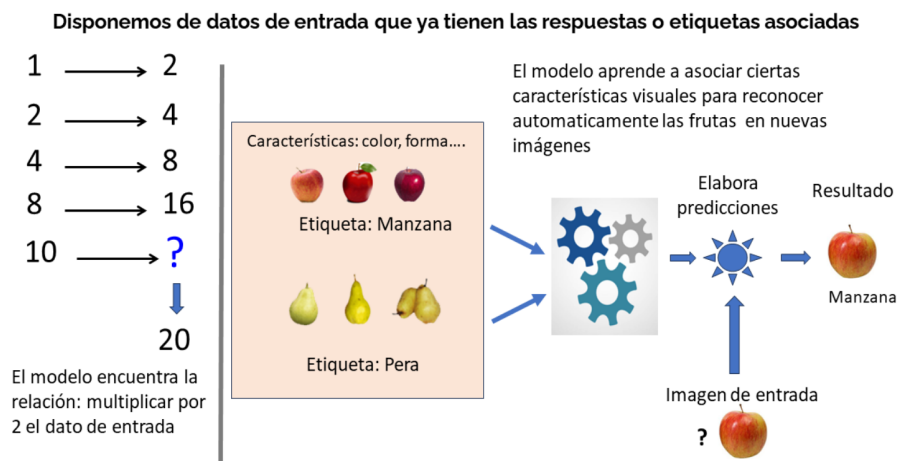
### POR SU ENFOQUE TÉCNICO:

- **Débil o estrecha:** Se enfoca en realizar tareas específicas y limitadas, como reconocimiento de voz, visión por computadora o procesamiento de lenguaje natural. Ejemplos incluyen asistentes virtuales como Siri o Alexa.
- **Fuerte o general:** Busca replicar la inteligencia humana en su totalidad, incluyendo la capacidad de razonamiento abstracto y la resolución de problemas en diferentes dominios. Este nivel de AI todavía está en desarrollo y no se ha alcanzado plenamente.

### POR SU MÉTODO DE APRENDIZAJE AUTOMÁTICO (ML):

**Aprendizaje Supervisado:** Los algoritmos se entrenan en datos etiquetados, donde se les proporciona la entrada y la salida deseada. Por ejemplo, clasificación de imágenes, predicción de precios de acciones. El objetivo es que el modelo aprenda a realizar predicciones precisas cuando se le presentan nuevos datos no etiquetados.

Figura 42. Ejemplo de Aprendizaje Supervisado



Fuente; (de Francisco, 2024)

Además, existen tres tipos de modelos de ML que están clasificados dentro del campo del aprendizaje supervisado, ya que requieren datos de entrenamiento etiquetados para aprender y hacer predicciones:

**Máquinas de Vectores de Soporte (SVM):** Se clasifican como modelos de aprendizaje automático de tipo discriminativo. Su objetivo principal es encontrar el hiperplano óptimo que mejor separe las clases

diferentes en un espacio de características. SVM es útil en problemas de clasificación binaria, pero también puede extenderse a problemas de clasificación multiclase y regresión.

**Árboles de Decisión:** Se clasifican como modelos de aprendizaje automático de tipo regresivo y clasificatorio. Estos modelos toman decisiones basadas en una serie de condiciones if-then-else, donde cada nodo interno del árbol representa una característica, cada rama representa una regla de decisión y cada hoja representa el resultado de la clasificación o regresión.

**Modelos Probabilísticos:** Estos modelos utilizan conceptos de probabilidad para modelar la incertidumbre y realizar predicciones. Pueden ser de varios tipos, como regresión logística, redes bayesianas, y modelos de mezclas gaussianas, entre otros. Estos modelos se utilizan comúnmente en problemas donde se necesita una estimación de la probabilidad, como clasificación y regresión.

**Aprendizaje No Supervisado:** Los algoritmos se entrenan en datos no etiquetados y deben encontrar patrones y estructuras por sí mismos. Ejemplos incluyen clustering y reducción de dimensionalidad.

Figura 43. Ejemplo de Aprendizaje No Supervisado



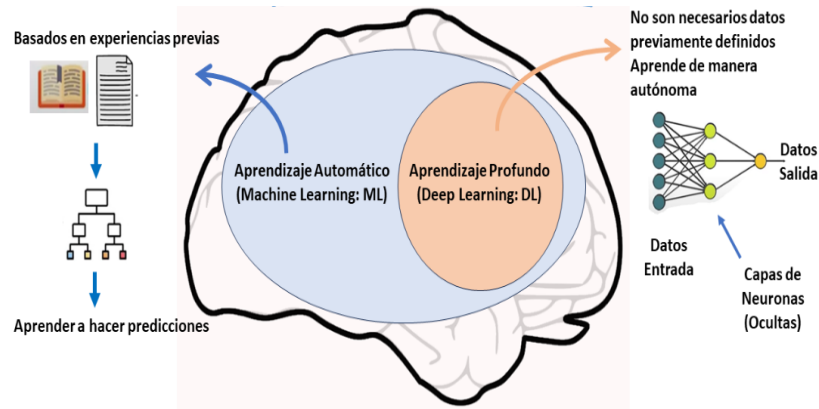
Fuente; (de Francisco, 2024)

**Aprendizaje por Refuerzo (RL, Reinforcement Learning):** Los algoritmos aprenden a través de la interacción con un entorno, tomando decisiones y recibiendo retroalimentación sobre su desempeño. Aquí se emplea el término “agentes” puede ser un objeto/entidad físico o virtual y están entrenados bajo un mecanismo de recompensa y castigo. El agente es recompensado por los movimientos correctos y castigado por los incorrectos. Al hacerlo, el agente intenta minimizar los movimientos incorrectos y maximizar los correctos. Ejemplos incluyen la conducción autónoma área que aún falta por desarrollarse (optimización de

trayectorias, la planificación del movimiento, la trayectoria dinámica, la optimización del controlador y las políticas de aprendizaje basadas en escenarios para carreteras). Se necesitan muchos datos para alimentar el modelo para el cálculo. Los modelos de RL requieren una gran cantidad de datos de entrenamiento para desarrollar resultados precisos. Esto consume tiempo y mucha potencia computacional. Cuando se trata de construir modelos sobre ejemplos del mundo real, el costo de mantenimiento es muy alto.

Se indica que ML es un subcampo de la AI y se centra en desarrollar algoritmos y modelos que permiten a las computadoras aprender patrones y hacer predicciones a partir de datos, sin ser explícitamente programadas para realizar una tarea específica. Dentro del ML se tiene al Aprendizaje Profundo (DL, Deep Learning), que implica crear y entrenar redes neuronales artificiales para adquirir y ejecutar funciones particulares. Estos modelos computacionales están inspirados en el funcionamiento del cerebro humano y sobresalen por su habilidad para aprender patrones complejos de manera automática a partir de conjuntos extensos de datos.

Figura 44. El DL, una subcategoría del ML



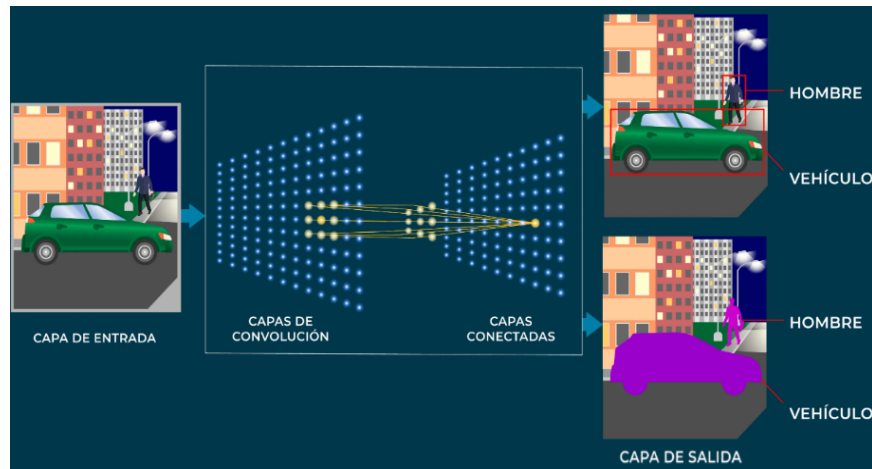
Fuente; (de Francisco, 2024)

## POR SU ARQUITECTURA:

**Redes Neuronales Artificiales (RNA):** Inspiradas en el funcionamiento del cerebro humano, utilizan capas de neuronas interconectadas para aprender y realizar tareas.

**Redes Neuronales Convolucionales (CNN):** Las redes neuronales convolucionales son un tipo de red neuronal especialmente diseñada para el procesamiento de datos de tipo matriz, como imágenes. Se utilizan principalmente en tareas de visión por computadora, como clasificación de imágenes, detección de objetos, segmentación semántica, entre otros.

Figura 45. Operación de Redes Neuronales Convolucionales



Fuente: (Algotive, 2022)

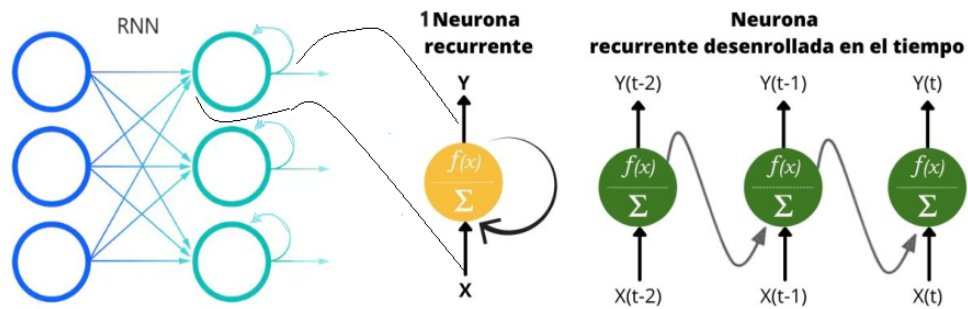
Están compuestas por capas convolucionales y capas de pooling, que permiten extraer características y reducir la dimensionalidad de los datos de entrada. Están encuadradas dentro del aprendizaje supervisado y se entrenan utilizando algoritmos de optimización como el descenso de gradiente estocástico.

**Redes Neuronales Recurrentes (RNN):** Las redes neuronales recurrentes son un tipo de red neuronal diseñada para modelar secuencias de datos, donde la salida de una capa se alimenta como entrada a la siguiente iteración.

Se utilizan en tareas que involucran datos secuenciales, como procesamiento de lenguaje natural (NLP), traducción automática, generación de texto, entre otros. Las RNN tienen la capacidad de recordar información de estados anteriores a través de unidades de memoria recurrentes, como las células Memoria a Corto y Largo Plazo (LSTM Long-Short Term Memory) y Unidades Recurrentes Cerradas (GRU, Gated Recurrent Units).

La RNN más simple posible, compuesta por una sola neurona que recibe una entrada, produciendo una salida, y enviando esa salida a sí misma.

Figura 46. Desempeño de una RNN



Fuente: Adaptado de (Abdatum, 2021)

En cada instante de tiempo (también llamado timestep en este contexto), esta neurona recurrente recibe la entrada  $x$  de la capa anterior, así como su propia salida del instante de tiempo anterior para generar su salida  $y$ . Están encuadradas dentro del aprendizaje supervisado y se entrenan utilizando algoritmos de retropropagación a través del tiempo (BPTT, Backpropagation Through Time) u optimización de gradientes truncados esto es una técnica para abordar el problema del desvanecimiento o explosión del gradiente durante el entrenamiento. En las RNN, especialmente en secuencias largas, los gradientes pueden volverse demasiado pequeños o demasiado grandes a medida que se propagan hacia atrás a través del tiempo, lo que dificulta el entrenamiento efectivo de la red.

La optimización de gradientes truncados trata de mitigar este problema truncando los gradientes en un valor máximo o mínimo predefinido. Esto significa que, si los gradientes superan cierto umbral, se limitan a ese umbral para evitar que crezcan demasiado. Esto ayuda a estabilizar el proceso de entrenamiento y a mejorar la capacidad de la red para aprender patrones en secuencias largas.

### **OTRAS ARQUITECTURAS:**

Además de las CNN y RNN, existen otras arquitecturas especializadas que se adaptan a diferentes tipos de datos y problemas, como:

**Redes Neuronales Siamesas:** Estas redes constan de dos ramas idénticas (llamadas "siamesas"), que comparten los mismos pesos y estructura con el fin de comparar la similitud entre dos entradas. Cada rama procesa una entrada por separado y produce un vector de características. Luego, estos vectores se comparan en una capa de salida para evaluar la similitud entre las entradas. Las redes neuronales siamesas son útiles en tareas como reconocimiento de rostros, emparejamiento de documentos y clasificación de pares de objetos

**Las Redes Generativas Adversarias (GAN):** Consiste en dos modelos enfrentados entre sí: el generador y el discriminador. El generador tiene como objetivo crear muestras realistas de datos, como imágenes, música o texto, mientras que el discriminador intenta distinguir entre las muestras generadas y las reales. Durante el entrenamiento, el generador intenta mejorar su capacidad para generar muestras realistas, mientras que el discriminador busca mejorar su capacidad para distinguir entre muestras falsas y reales. Este proceso de competencia entre el generador y el discriminador conduce a la mejora continua de ambos modelos.

Las GAN se han utilizado en una variedad de aplicaciones, como la generación de imágenes realistas, la síntesis de voz, la creación de música y la generación de texto, entre otros. Su capacidad para generar datos sintéticos de alta calidad los hace muy útiles en campos como la visión por computadora, el procesamiento de lenguaje natural y la inteligencia artificial en general.

**Las Redes Neuronales Transformer:** Son un tipo de arquitectura de redes neuronales diseñada principalmente para tareas de procesamiento de lenguaje natural. Tienen un mecanismo de atención, que les permite capturar relaciones de largo alcance entre las palabras en una secuencia de entrada sin depender de las estructuras recurrentes o convolucionales utilizadas en arquitecturas anteriores. En lugar de procesar las palabras de manera secuencial, como en las RNN, las redes Transformer procesan todas las palabras simultáneamente en cada paso, lo que permite una paralelización más eficiente del entrenamiento y la inferencia.

Las redes Transformer están compuestas por bloques de atención, cada uno de los cuales incluye capas de atención multi-cabeza y capas de alimentación hacia adelante. Estos bloques se apilan para formar la arquitectura completa de la red. Debido a su capacidad para capturar relaciones de largo alcance y su eficiencia en el procesamiento paralelo, las redes neuronales Transformer han demostrado un rendimiento sobresaliente en una amplia gama de tareas de NLP, como la traducción automática, la generación de texto y el modelado del lenguaje.

#### **POR SU APLICACIÓN:**

**AI en la medicina:** Desde diagnósticos médicos hasta investigación de fármacos, la IA está transformando la industria de la salud.

**AI en finanzas:** Se utiliza para análisis de riesgos, detección de fraudes, comercio algorítmico y gestión de carteras.

**AI en vehículos autónomos:** La conducción autónoma es uno de los campos más destacados, donde la IA se utiliza para interpretar datos del entorno y tomar decisiones en tiempo real.

**AI en el procesamiento de lenguaje natural (NLP):** Desde chatbots hasta traducción automática, la IA se aplica en diversas tareas que involucran la comprensión y generación de lenguaje humano.

### **EDGE COMPUTING (COMPUTACIÓN EN EL BORDE):**

Esta tecnología permite procesar datos cerca de su origen, en los dispositivos IoT o en los puntos de acceso más cercanos, en lugar de enviarlos a servidores remotos para su procesamiento. Esto reduce la latencia, optimiza el ancho de banda y aumenta la privacidad y la seguridad de los datos. Es una tendencia importante en la informática moderna que ofrece una serie de beneficios, como reducción de tiempo en ciertas métricas de desempeño de red, mayor eficiencia de la red y soporte para aplicaciones de tiempo real.

### **INTRODUCCIÓN AL EC**

El EC o llamada también computación perimetral es un enfoque emergente en el procesamiento de datos que busca reducir la latencia, mejorar la eficiencia de la red y permitir aplicaciones que requieren un procesamiento rápido de datos en tiempo real. En lugar de depender únicamente de recursos de cómputo centralizados, como servidores en la nube (Cloud Computing, CC), La EC distribuye el procesamiento y el almacenamiento de datos más cerca de donde se generan los datos, en los bordes de la red. La EC también puede aprovechar la IoT para ampliar su marco y adaptarse a la naturaleza dinámica y distribuida de los nodos de computación de borde o perimetrales.

Estos nodos de borde pueden servir como proveedores y pueden consistir en dispositivos de IoT o dispositivos con algunas capacidades computacionales residuales o computación de niebla (FC, Fog Computing). Este concepto lo estableció Cisco en 2014, y se centra en gestionar la ubicación de la generación y el almacenamiento de datos. Aprovecha el procesamiento de borde y las conexiones de red necesarias para transferir datos desde el borde hasta el punto final. El sistema de FC no fue diseñado para reemplazar la EC; en cambio, su desarrollo tuvo como objetivo llenar cualquier vacío de servicio presente en la computación en la nube.

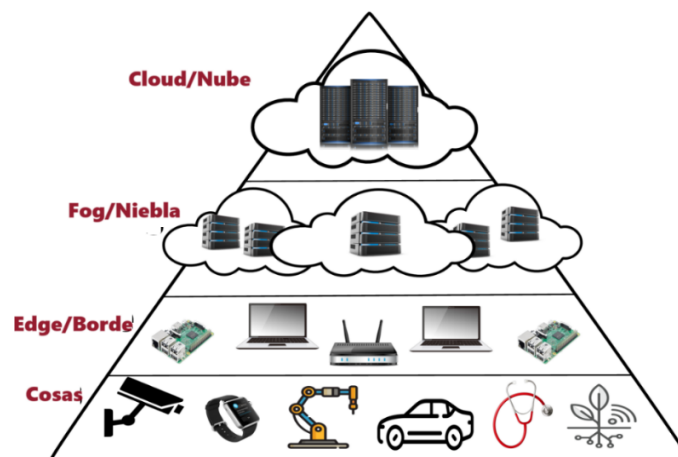
La FC hace empeño en acercar las capacidades de la computación en la nube al borde de la red para que los usuarios puedan acceder a los servicios de comunicación y software más rápidamente. Este enfoque funciona bien para ofrecer soluciones en la nube para tecnologías

altamente móviles como redes vehiculares ad hoc (VANET) e IoT. La FC sirve a los puntos finales o bordes de la red de dispositivos interconectados. Prioriza el análisis de datos urgentes cerca de las fuentes, enviando solo los datos seleccionados y abreviados a la nube.

## ARQUITECTURA DE EC

La arquitectura de EC consta de dispositivos de borde o perimetrales, redes de borde y servicios de borde. Los dispositivos de borde son los dispositivos de cómputo y sensores ubicados en el extremo de la red, como enrutadores, switches, gateways y dispositivos IoT. Las redes de borde son las redes que conectan estos dispositivos de borde entre sí y con la infraestructura centralizada. Los servicios de borde son los servicios de software que se ejecutan en los dispositivos de borde para procesar y analizar los datos localmente.

Figura 47. Arquitectura de tres niveles de paradigmas informáticos



Fuente: (Hasan & Idree, 2024)

Se han establecido varios paradigmas para operar en el borde de la red a lo largo del crecimiento de la EC, incluida la computación de borde móvil (MEC, Mobile EC) y de nube pequeña (Cloudlet).

## LOS CLOUDLETS

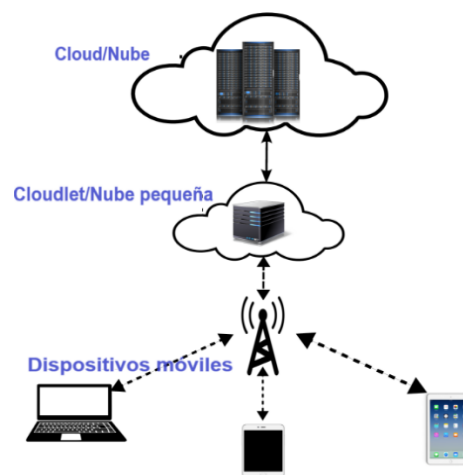
Son esencialmente pequeños centros de datos, a menudo denominados nubes en miniatura, que con frecuencia se encuentran a solo un salto del dispositivo de un usuario. En lugar de depender de una "nube" lejana, se puede utilizar una nube cercana con abundantes recursos para aliviar los recursos limitados de un dispositivo móvil. Para cumplir con el requisito de respuestas interactivas en tiempo real, una solución es establecer una conexión inalámbrica con una nube cercana que proporcione acceso inalámbrico de gran ancho de banda, de un solo salto y de baja latencia. En esta situación, el dispositivo móvil sirve como



un cliente liviano, con la nube cercana manejando la mayoría de las operaciones computacionales complejas. La cloudlet se basa en tecnologías como Wi-Fi, lo que lo hace dependiente de una fuerte conexión a Internet.

Véase, en la figura 48 la conexión de nube pequeña

Figura 48. La nube pequeña o cloudlet



Fuente: (Hasan & Idree, 2024)

Como resultado de su menor cobertura, las nubes pequeñas tienen menos poder computacional que las nubes típicas, pero aún tienen ventajas sobre ellas, incluida una menor latencia y uso de energía. Así mismo funciona de forma autónoma, con un consumo mínimo de energía y solo necesita conexión a Internet y control de acceso para su configuración.

Esta simplicidad administrativa se correlaciona con una arquitectura informática basada en dispositivos, lo que permite una fácil implementación en una variedad de locales comerciales, como consultorios médicos o cafeterías. Para evitar implicaciones graves en caso de pérdida o mal funcionamiento, es fundamental enfatizar que el cloudlet solo debe almacenar datos y códigos transitorios, como copias en caché. En circunstancias críticas como operaciones militares, áreas afectadas por desastres e incluso ataques cibernéticos, las nubes son esenciales. Los cloudlets también tienen la ventaja de reducir los peligros vinculados a las redes de múltiples saltos, como la posibilidad de ataques DoS.

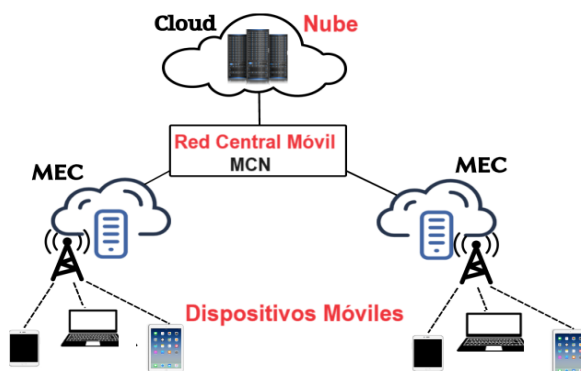
## COMPUTACIÓN DE BORDE MÓVIL

La idea detrás de una nube es colocar estratégicamente computadoras potentes para que puedan proporcionar capacidades informáticas y de almacenamiento a los equipos de usuario (UE) vecinos. Al igual que los puntos de acceso WiFi, los cloudlets brindan servicios en la nube a clientes móviles en lugar de ofrecer conectividad a Internet. El hecho de que los UE móviles utilicen predominantemente conexiones WiFi para acceder a los cloudlets tiene una desventaja potencial porque requiere que los usuarios alternen entre la red móvil y WiFi cada vez que necesiten servicios de cloudlets.

La plataforma MEC o computación de borde móvil (MEC), anunciada en 2014 por el ETSI, se caracteriza por ser un sistema que proporciona funcionalidades de las tecnologías de la información (TI, Information Technology) y computación en la nube dentro de la Red de Acceso Radio (RAN), ubicada muy cerca de los suscriptores móviles. El ETSI define que MEC tiene baja latencia, recursos de almacenamiento y procesamiento local, conocimiento de la red y mejor calidad de servicio proporcionado por los operadores de telefonía móvil. MEC hace que los servicios móviles para el usuario final sean más accesibles al proporcionar recursos informáticos y de almacenamiento. Estos recursos están destinados a implementarse en redes móviles cercanas a los usuarios finales.

Los recursos MEC se pueden utilizar en una variedad de ubicaciones, incluidas redes de acceso de radio (RAN), estaciones base interiores y exteriores y puntos de acceso, que conectan el equipo del usuario a las redes centrales de los operadores de redes móviles (MNO). Dentro de la red de acceso por radio, MEC proporciona capacidades de computación en la nube, como se muestra en la figura 49.

Figura 49. Arquitectura de Computación de Borde Móvil



Fuente: (Hasan & Idree, 2024)

En lugar de enrutar el tráfico móvil desde la red central a los usuarios finales, MEC crea un vínculo directo entre los usuarios y la red perimetral más cercana dotada de servicios en la nube. Al implementar MEC en la estación base, mejora la computación, mitiga los cuellos de botella y reduce el riesgo de falla del sistema. MEC se implementa en una plataforma virtualizada que aprovecha los avances más recientes en redes centradas en la información como la virtualización de funciones de red (NFV) que desacopla las funciones de red tradicionales, que normalmente se ejecutan en hardware dedicado propietario, y ejecutarlas en software sobre hardware estándar de propósito general y con redes definidas por software (SDN).

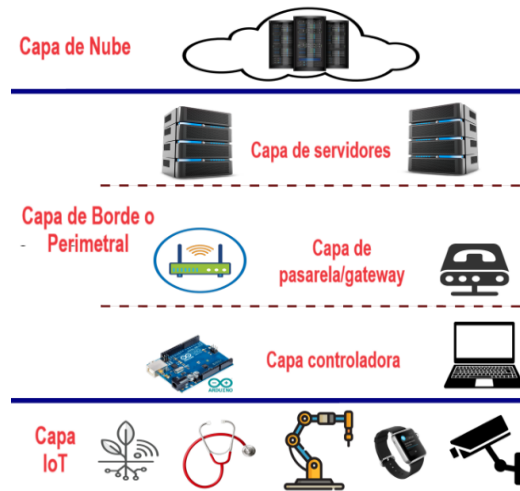
Esto último es un enfoque de diseño de redes que separa el plano de control de las decisiones de enrutamiento y gestión del plano de datos, donde ocurre el tráfico de red real. En lugar de que los dispositivos de red individuales tomen decisiones de manera independiente, en una red SDN, el controlador de red centralizado se encarga de administrar y dirigir el tráfico de manera dinámica y programática, utilizando software para definir y gestionar políticas de red.

Así un dispositivo de un solo borde con NFV como núcleo puede proporcionar servicios computacionales a numerosos dispositivos móviles mediante la producción de varias máquinas virtuales (VM). Estas máquinas virtuales pueden manejar varias tareas o realizar diversas operaciones de red al mismo tiempo.

## **ARQUITECTURA DE IOT BASADA EN EDGE COMPUTING**

Dentro del ámbito de IoT, la EC se canaliza para reducir la latencia en la toma de decisiones y el tráfico de red. La arquitectura de IoT basada en EC, es representada en la figura 50, comprende tres capas específicas: IoT, borde y nube, todas desarrolladas sobre fundamentos de diseño de EC ya establecidos.

Figura 50. Arquitectura de IoT basada en Edge Computing



Fuente: (Hasan & Idree, 2024)

**Capa de IoT:** Engloba una variedad de dispositivos como automóviles inteligentes, robots, maquinaria, terminales portátiles, e instrumentos, encargados de monitorear servicios y actividades. Esta capa incluye actuadores, sensores, controladores y puertas de enlace específicamente diseñados para contextos de IoT.

**Capa de Borde o perimetral:** Su función principal es recibir, procesar y enviar flujos de datos desde la capa de dispositivos. Ofrece servicios en tiempo real como computación inteligente, seguridad, privacidad y análisis de datos. Se divide en tres subcapas: borde lejano, borde medio y borde cercano.

**a) Borde lejano (controlador de borde):** Recolecta datos de la capa de IoT, realiza evaluaciones iniciales de umbrales o filtrado de datos, y luego dirige el flujo de control de regreso a la capa de IoT. Los controladores de borde deben incorporar algoritmos adaptados al entorno para mejorar la eficiencia.

**b) Borde medio (puerta de enlace de borde):** Conecta redes cableadas o inalámbricas para recibir datos del borde lejano, procesa datos y almacena en caché. Facilita el cambio de control entre capas superiores y monitorea el equipo en ambas capas.

**c) Borde cercano (servidor perimetral):** Equipado con servidores robustos, realiza procesamiento de datos avanzado. Genera decisiones basadas en los datos recopilados y proporciona funciones de administración de plataforma y gestión de aplicaciones.

**Capa de nube:** Se enfoca en extraer datos en profundidad y asignar recursos de manera óptima a gran escala. Recibe datos de la capa

perimetral a través de la red pública y proporciona comentarios a aplicaciones, servicios e implementaciones de modelos comerciales.

## **BENEFICIOS DE EDGE COMPUTING**

**Reducción de la latencia:** La informática de borde, con su cercanía y mínima latencia, ofrece una solución al problema de demora que enfrentan los dispositivos de usuario al acceder a los servicios comunes en la nube. Al reducir significativamente el tiempo de respuesta, aborda los retrasos en la comunicación, el procesamiento y la transmisión de datos. En contraste, la computación en la nube suele presentar una latencia de extremo a extremo de más de 80 ms (o 160 ms para el retraso total de respuesta), lo que la hace inadecuada para aplicaciones críticas como cirugías remotas y realidad virtual (RV), que requieren respuestas casi instantáneas en un lapso de 1 ms. La computación de borde, por su parte, beneficia a los dispositivos de usuario al disminuir tanto el retraso total de extremo a extremo como el tiempo de reacción, gracias a su cercanía con los servidores perimetrales. Esta mejora facilita interacciones más rápidas y eficientes para aplicaciones donde el tiempo es crucial, cumpliendo con los requisitos de velocidad y capacidad de respuesta.

**Mayor eficiencia de la red:** Al reducir el tráfico de red al procesar datos localmente, se mejora la eficiencia de la red y se reduce la congestión de la red. Los servidores perimetrales pueden obtener una comprensión profunda del contexto de la red a través de la información recopilada. Esto abarca datos sobre los dispositivos de usuario, como la asignación de ancho de banda y la ubicación de los usuarios, así como las condiciones de la red en tiempo real, como la carga de tráfico en una celda de la red y las características específicas de la red de acceso por radio. Además, esta disponibilidad de información detallada permite el desarrollo de servicios personalizados que se adaptan específicamente a las necesidades de distintos flujos de tráfico y usuarios individuales

**Mayor privacidad y seguridad:** Una de las principales características de los servicios ofrecidos en la plataforma en la nube es la mejora de la seguridad y privacidad de los datos. Los usuarios de estos servicios pueden acceder a soluciones centralizadas de seguridad de datos proporcionadas por los proveedores, pero cualquier violación de la seguridad de datos centralizados puede tener consecuencias graves. Por otro lado, la EC ofrece la ventaja de permitir la implementación local de soluciones de seguridad personalizadas.

Con este enfoque, se reduce la necesidad de transferir datos porque gran parte del procesamiento puede realizarse en el borde de la red. Como resultado, hay menos riesgos de fuga de datos durante la transmisión y

se almacenan menos datos en la plataforma en la nube, lo que disminuye los riesgos de seguridad y privacidad. Al mantener los datos en el borde de la red, se reduce el riesgo de exposición de datos sensibles y se mejora la privacidad y la seguridad de los datos.

**Soporte para aplicaciones de tiempo real:** Los servidores perimetrales gestionan eficazmente grandes volúmenes de tráfico, mejorando el rendimiento general de la red. Pues se efectúa un procesamiento rápido de datos en tiempo real, lo que lo hace ideal para aplicaciones que requieren baja latencia y alto rendimiento.

**Conocimiento del contexto de red:** Esto implica tener acceso a información sobre los dispositivos de usuario, como la asignación de ancho de banda y la ubicación de los usuarios, así como datos en tiempo real sobre las condiciones de la red, como la carga de tráfico en una celda de la red y las particularidades de la red de acceso por radio. Este conocimiento profundo permite que los servidores perimetrales se ajusten y adapten de manera más efectiva a las diversas condiciones de los dispositivos de usuario y de la red, lo que resulta en una utilización más eficiente de los recursos de la red.

## **TECNOLOGÍAS IOT BASADAS EN EC**

La implementación de IoT basado en la computación perimetral puede realizarse mediante la integración de diversas tecnologías habilitadoras. Se presentan ejemplos de tecnologías relevantes, como la inteligencia artificial (AI, Artificial Intelligence) y la virtualización ligera.

## **INTELIGENCIA EN EL BORDE O IA PERIMETRAL:**

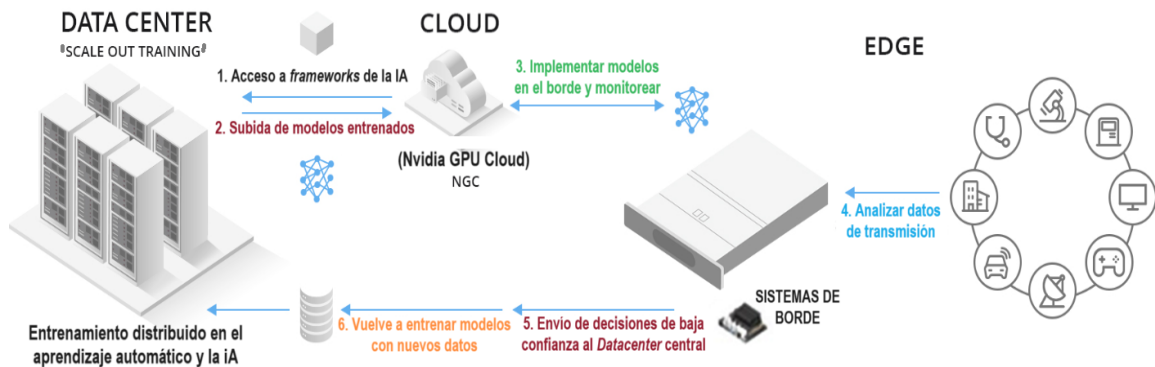
Conforme aumenta la demanda de dispositivos perimetrales inteligentes, la industria ha respondido con innovación y la adopción de arquitecturas perimetrales inteligentes. Estas arquitecturas admiten aplicaciones críticas en tiempo real que se ejecutan en una variedad de dispositivos. De tal forma se han introducido muchas técnicas para mejorar el rendimiento del aprendizaje profundo empleando: Diseño de modelos, Optimizaciones de tiempo de ejecución y Hardware. Entonces se puede realizar tareas de procesamiento de datos, análisis y toma de decisiones de manera autónoma y en tiempo real, sin depender completamente de la nube o de servidores remotos

Se considera que una máquina es inteligente si puede imitar comportamientos y habilidades humanas, como la percepción, la atención, el pensamiento y la toma de decisiones. En este contexto, las redes neuronales profundas (DNN, Deep Neural Networks) mejoran el aprendizaje automático con rendimientos excepcionales en áreas como la visión por computadora, el procesamiento del lenguaje natural y el

procesamiento de imágenes. La integración del aprendizaje profundo y EC es prometedora para abordar desafíos y abrir nuevas posibilidades para aplicaciones. Por otro lado, las aplicaciones de EC se benefician de las capacidades de procesamiento del aprendizaje profundo, lo que les permite manejar escenarios complejos como el análisis de video, el control de transporte, mantenimiento predictivo, asistentes virtuales, entre otros más.

La EC se integra con plataformas y hardware especializados, como el kit Nvidia Jetson Xavier NX y el Nvidia Jetson AGX Xavier que ofrecen capacidades mejoradas de procesamiento y rendimiento gráfico para respaldar eficientemente las operaciones de aprendizaje profundo en el borde. También se tiene desarrollos con varias técnicas para mejorar el rendimiento del aprendizaje profundo en dispositivos perimetrales con hardware de circuitos integrados hecho a la medida (ASIC Application-Specific Integrated Circuit) y de las matrices de puertas programables en campo (FPGA Field Programmable Gate Array). Estas últimas, se utilizan en una variedad de aplicaciones, como procesamiento de señales digitales, procesamiento de imágenes, criptografía, control de dispositivos y sistemas embebidos, entre otros.

Figura 51. Funcionamiento de EC con Inteligencia Artificial



Fuente: (Howard, 2024)

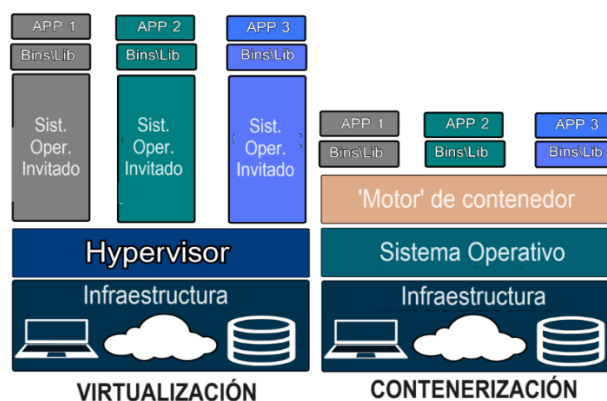
## VIRTUALIZACIÓN LIGERA

Las tecnologías de virtualización son ampliamente utilizadas en la computación en la nube debido a su eficaz método para aprovechar las capacidades de la nube al dividir un host físico en componentes virtuales más pequeños y manejables. Al hacer uso de estas tecnologías, los servicios de computación en la nube se vuelven más accesibles y económicamente eficientes. Los hipervisores, como VirtualBox y VMware, son comúnmente empleados para la virtualización de hardware en la nube. No obstante, este enfoque presenta ciertas limitaciones, como un mayor consumo de recursos, tiempos de inicio prolongados y una superficie de ataque más amplia.

Para superar estas limitaciones, han surgido tecnologías de virtualización más livianas, como Unikernels y Contenedores, que actualmente se utilizan tanto en la nube como en la computación de borde. (Triana, 2021) Estas tecnologías livianas ofrecen una implementación rápida y una alta eficiencia, superando de manera efectiva las restricciones asociadas con la virtualización tradicional basada en hipervisor. Dado que los dispositivos informáticos de borde suelen tener capacidades computacionales menos potentes que los centros de datos, la adopción de estas tecnologías emergentes de virtualización liviana proporciona numerosas ventajas. Entre estas ventajas se incluyen una inicialización rápida, una sobrecarga mínima, una alta densidad de instancias y una eficiencia energética notable, lo que las convierte en una opción muy adecuada para el entorno informático de vanguardia.

La tecnología de virtualización liviana es crucial en la informática de borde, ya que permite la implementación de servicios de administración, orquestación y aislamiento de recursos sin necesidad de considerar diferentes configuraciones de hardware. Esto ha llevado a una transformación significativa en las prácticas de desarrollo e implementación de software. Los contenedores, como alternativa liviana a la virtualización tradicional basada en hipervisor, ofrecen un nivel diferente de abstracción en términos de aislamiento y virtualización. (IONOS, 2013). Mientras que los hipervisores virtualizan el hardware y los controladores de dispositivos, lo que implica una mayor sobrecarga, los contenedores aíslan procesos a nivel del sistema operativo.

Figura 52. Virtualización versus contenerización



Fuente: (Hasan & Idree, 2024)

Esto permite aislar aplicaciones independientes con sus propias interfaces de red virtual, espacios de proceso y sistemas de archivos, ya que comparten el núcleo del sistema operativo de la misma máquina



host. Los contenedores facilitan una mayor cantidad de instancias virtualizadas con volúmenes de imágenes más bajos, todas funcionando en una sola máquina gracias a la función de kernel compartido.

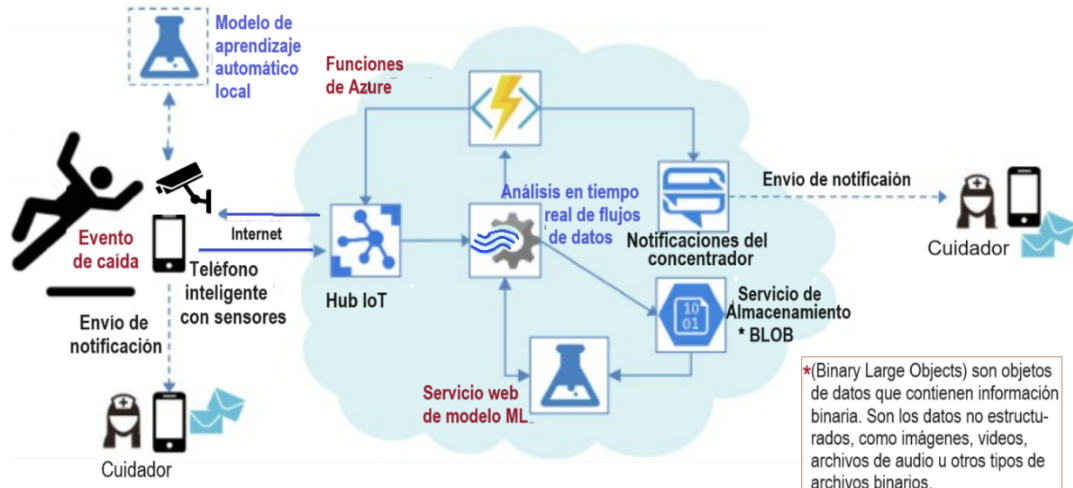
### **EC EN SISTEMAS INTELIGENTES: ESTUDIOS DE CASO**

Con el aumento de los sistemas inteligentes, la computación de borde proporciona las soluciones más eficientes en términos de informática y almacenamiento para dispositivos con capacidades computacionales limitadas. Esta sección se enfoca en las aplicaciones de la computación de borde en sistemas inteligentes basados en IoT, tales como la atención médica, la manufactura, la agricultura y el transporte. Se seleccionaron estos cuatro estudios de caso debido a su impacto significativo en la mejora de la calidad de vida humana.

### **EC EN LA ATENCIÓN SANITARIA BASADA EN IOT**

El término "atención geriátrica" se refiere a un área de la atención médica que se centra en satisfacer las necesidades mentales, físicas y sociales especiales de las personas mayores. Esta atención se diseña específicamente para abordar las demandas únicas de las personas mayores, con el objetivo de mejorar su bienestar y salud general, al tiempo que se trata con éxito las enfermedades y dolencias relacionadas con la edad. El peligro de caídas es una preocupación fundamental en el ámbito de la atención geriátrica. Desafortunadamente, muchas personas mayores sufren caídas y, en ocasiones, fallecen debido a la falta de equilibrio. Se ha demostrado que una respuesta inmediata en los primeros siete minutos después de una caída puede potencialmente evitar consecuencias físicas graves como lesiones cerebrales, reduciendo así las tasas de mortalidad y enfermedades entre la población de edad avanzada.

Figura 53. Detección de caídas en adultos mayores con EC e Inteligencia Artificial



Fuente: (Scient Direct, 2021)

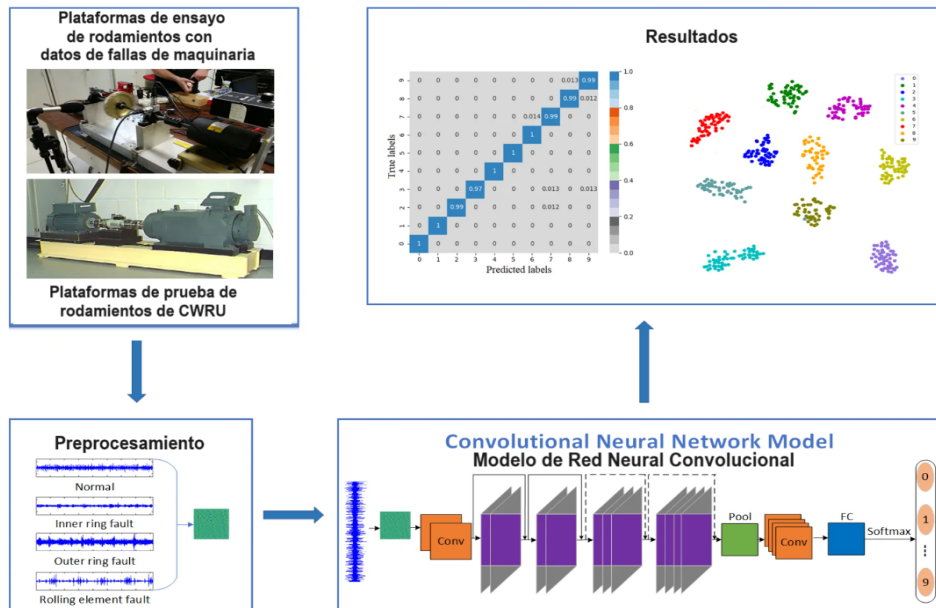
En este enfoque, el servidor de EC está equipado con modelos de aprendizaje profundo previamente entrenados, diseñados específicamente para detectar caídas con alta precisión y baja latencia. Estos modelos reducen con éxito los retrasos en la transmisión, manteniendo la independencia del procesamiento en la nube. Este enfoque no solo permite la generación de información valiosa en el lugar, reduciendo el tiempo de respuesta y la latencia, sino que también aborda las preocupaciones de privacidad al manejar datos personales y confidenciales en el borde.

## EC EN LA FABRICACIÓN BASADA EN IOT

La fabricación basada en IoT, se enfoca en la conectividad y el análisis de datos aquí se emplean diversos tipos de dispositivos de red con sensores conectados. El fin es mejorar la eficiencia, la monitorización y el control de los procesos de fabricación mediante la recopilación y análisis de datos en tiempo real. Para abordar estos desafíos, ha surgido la EC, que traslada la computación desde centros de datos centralizados al borde de la red. Este enfoque permite implementar servicios inteligentes cerca de las unidades de fabricación. Por lo tanto, este tipo de fabricación es diferente de la fabricación aditiva conocida también como impresión 3D, la cual necesita de algún tipo de material para crear objetos físicos a partir de modelos digitales.

Un ejemplo es un método de clasificación visual avanzado diseñado para sistemas de fabricación adaptables. Este sistema utiliza un enfoque de clasificación visual basado en redes neuronales convolucionales (CNN). De esta manera pueden adaptarse dinámicamente a cambios en la producción, identificando y clasificando automáticamente diferentes elementos sin necesidad de intervención humana.

Figura 54. Un marco de CNN basado en mapeo de identidad y optimizador Adam para extraer características de fallas.



Fuente: (Wang, Xiao, & Cao, 2022)

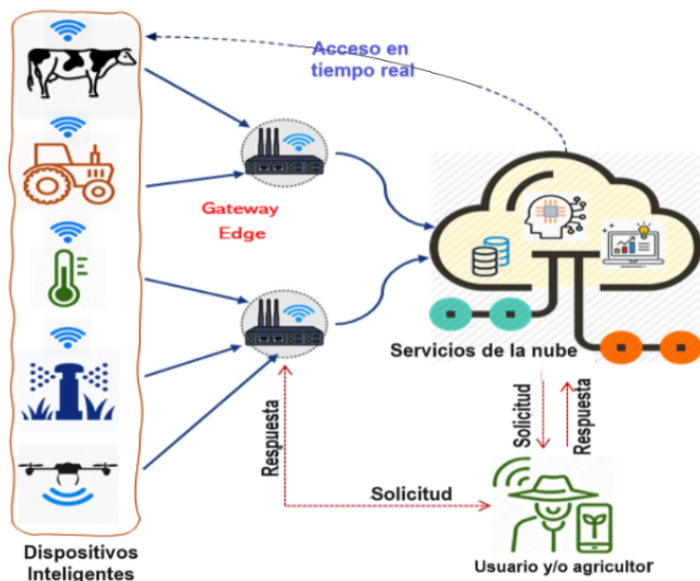
Para respaldar este sistema, se desarrollará una plataforma EC, que facilita la computación rápida, el mantenimiento y la mejora continua de los servicios.

### EC EN AGRICULTURA BASADA EN IOT

En el contexto de EC en la agricultura un ejemplo, es un sistema que cumple con las exigentes necesidades de la agricultura de precisión (PA) mediante la integración de automatización, tecnologías de IoT, EC y CC a través de la virtualización.

Una plataforma de múltiples niveles fue desarrollada, compuesta por (1) una capa local de Sistemas Ciber-físicos (CPS) conectada a invernaderos agrícolas; (2) una nueva arquitectura de computación de borde en la nube en la que los módulos de control se colocan en nodos virtualizados cerca de la red de acceso; y (3) una sección en la nube equipada con poderosas herramientas informáticas y de análisis de datos para ayudar a los agricultores a tomar decisiones inteligentes sobre el manejo de cultivos.

Figura 55. Modelo de interacción en la agricultura inteligente.



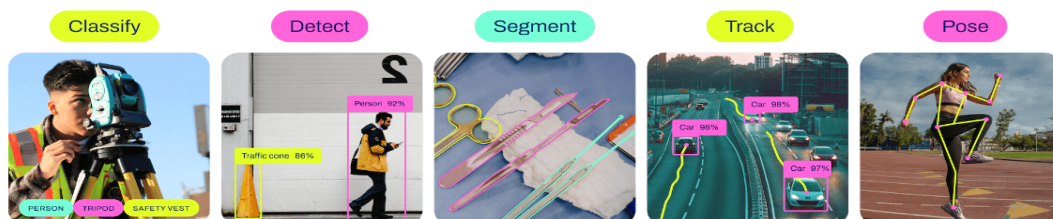
Fuente: (Gupta & Mahmoud , 2020)

A través de un software especializado al que los agricultores finales podían acceder a través de la plataforma, esta innovación permitió controlar un sistema hidropónico cerrado en tiempo real. Los resultados mostraron beneficios notables en comparación con un enfoque tradicional de cultivo abierto, incluidos importantes ahorros de agua y mejoras en la calidad de los nutrientes.

### EC EN EL TRANSPORTE BASADO EN IOT

La EC ofrece aplicaciones innovadoras para los sistemas de transporte inteligente (ITS). Actualmente, se están llevando a cabo importantes investigaciones sobre vehículos inteligentes tanto en el ámbito académico como en el industrial. La detección del flujo de tráfico juega un papel vital en ITS. Al obtener datos sobre el flujo de tráfico urbano en tiempo real, los ITS pueden guiar de manera inteligente las medidas para aliviar la congestión del tráfico.

Figura 56. Los modelos YOLOv8: Classify, Detect , Segment Track y Pose



Fuente: (Ultralíticos, 2023)

YOLO (You Only Look Once), es un algoritmo de disparo único que clasifica directamente un objeto en un solo paso haciendo que solo una red neuronal prediga cuadros delimitadores y probabilidades de clase utilizando una imagen completa como entrada. El modelo YOLO está en continua evolución, siendo YOLOv8 la última versión. Integra un sistema de visión por computadora de un extremo a otro a través de Viso Suite que se integra simplemente con un conjunto de herramientas, bibliotecas y estándares que facilitan el desarrollo de software.

De tal forma en la conducción autónoma se utilizan modelos de detección de objetos para ayudar a los vehículos autónomos a navegar de forma segura por la carretera. YOLOv8 es eficiente para tareas de clasificación y segmentación.

Figura 57. Visión por computadora en aeropuerto



Fuente: (Boesch, 2023)

Tiene facilidad de uso, con un paquete fácil de usar, los usuarios pueden implementar YOLOv8 rápidamente a través de la interfaz de línea de comandos (CLI, Command Line Interface) y el entorno integrado de desarrollo (IDE, Integrated Development Environment) de Python.

## DESAFÍOS DE EDGE COMPUTING

**Gestión de datos:** Gestionar datos distribuidos en dispositivos de borde puede ser complicado y requiere soluciones de gestión de datos robustas.

**Seguridad:** A medida que más datos se procesan en el borde de la red, se plantean desafíos adicionales en términos de seguridad y protección de datos.

**Escalabilidad:** Escalar la infraestructura de Edge Computing para admitir un gran número de dispositivos y usuarios puede ser un desafío y requiere una planificación cuidadosa.

## RED CELULAR

La llegada de la red de telefonía 5G está revolucionando las comunicaciones inalámbricas al proporcionar velocidades de conexión mucho más rápidas y una mayor capacidad de red. Esto facilita la conexión de un mayor número de dispositivos IoT y permite aplicaciones de IoT de baja latencia y alta fiabilidad, como vehículos autónomos, salud digital y fabricación inteligente. La combinación de 5G e IoT abre la puerta a una nueva era de conectividad ultra rápida y baja latencia que impulsará la innovación y la adopción de tecnologías disruptivas en una variedad de industrias y aplicaciones. El despliegue de la tecnología 5G será crucial para impulsar la transformación digital.

Se detallan algunas características y expectativas sobre 5G y la futura 6G:

### LA 5° GENERACIÓN:

**Mayor velocidad:** 5G ofrece velocidades de conexión significativamente más rápidas que las tecnologías anteriores, lo que permite descargas más rápidas y una transmisión de datos más fluida.

**Menor latencia:** La latencia reducida de 5G permite una mayor capacidad de respuesta en aplicaciones y servicios en tiempo real, como juegos en la nube, realidad virtual y conducción autónoma.

**Mayor capacidad de red:** 5G puede admitir una mayor cantidad de dispositivos conectados simultáneamente, lo que es fundamental para el Internet de las cosas (IoT) y la conectividad de dispositivos inteligentes.

**Mayor eficiencia energética:** Las redes 5G están diseñadas para ser más eficientes en el consumo de energía, lo que puede ser beneficioso para la duración de la batería de los dispositivos móviles y para reducir la huella de carbono de las telecomunicaciones.

### LA 6° GENERACIÓN Y EXPECTATIVAS FUTURAS

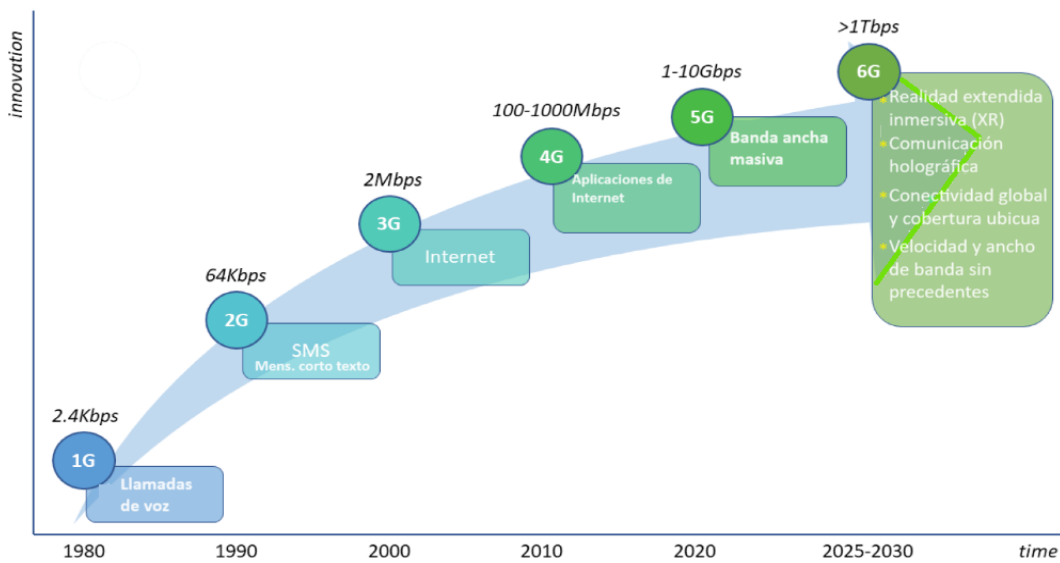
**Mayor velocidad y capacidad:** Se espera que 6G proporcione velocidades aún más rápidas que 5G, con capacidades de red aún mayores. Esto podría incluir velocidades de descarga y carga aún más rápidas, lo que permitiría aplicaciones y servicios aún más avanzados.

**Integración de tecnologías emergentes:** Se espera que 6G integre tecnologías emergentes como inteligencia artificial, realidad aumentada y cuántica, lo que podría abrir nuevas posibilidades en áreas como la comunicación, la medicina, la agricultura y la industria.

**Redefinición de la conectividad:** 6G podría impulsar la conectividad en áreas remotas y rurales donde la infraestructura de telecomunicaciones es limitada o inexistente, lo que facilitaría el acceso a la educación, la atención médica y otras oportunidades.

**Enfoque en la sostenibilidad:** Se espera que la tecnología 6G se desarrolle con un enfoque en la sostenibilidad, con énfasis en la eficiencia energética y la reducción de la huella de carbono, al tiempo que se optimiza el rendimiento de la red y se mejora la calidad de vida.

Figura 58. Velocidades de la 6G



Fuente: (Comunidad Académica, 2023)

### REALIDAD AUMENTADA Y REALIDAD VIRTUAL

Estas tecnologías están siendo integradas en aplicaciones IoT para proporcionar experiencias de usuario más inmersivas y contextualmente relevantes. La realidad aumentada (AR, Augmented Reality) precedió a la realidad virtual (VR, Virtual Reality) en términos de desarrollo y adopción comercial. La AR se desarrolló y comenzó a utilizarse en aplicaciones prácticas antes que la VR. La AR combina elementos del mundo real con elementos generados por computador, superponiendo información digital sobre la vista del mundo real a través de dispositivos como smartphones, tablets o gafas de AR. Uno de los primeros ejemplos conocidos fue el sistema de comunicaciones gráficas hombre-máquina de "Realidad Aumentada" desarrollado por Iván Sutherland en la década de 1960. Esto indica que es una tecnología que apareció hace más de 60 años, pero sus avances o desarrollo tuvo pausas un factor clave la falta de recursos monetarios

Hoy en día existe un término que se conoce como realidad mixta y tanto AR y VR se integran el paradigma llamado computación espacial. Esto, es la digitalización de las actividades de máquinas, humanos y objetos y las ubicaciones en las que ocurren para facilitar y mejorar acciones e interacciones. Los usos técnicos incluyen multimedia, modelado 3D, interacción inteligente en tiempo real, detección, información visual y más.

Figura 59. Enfoque computación espacial



Fuente: (MirrAR, 2023)

## REALIDAD AUMENTADA

La AR funciona combinando elementos del mundo real con elementos generados por computadora para proporcionar una experiencia interactiva e inmersiva. A continuación, los pasos básicos de cómo funciona:

**Captura del entorno:** El primer paso en la AR es la captura del entorno físico utilizando dispositivos como cámaras de smartphones, tablets o gafas de realidad aumentada. Estas cámaras capturan imágenes en tiempo real del entorno circundante.

**Reconocimiento y seguimiento:** Una vez que se captura el entorno, los algoritmos de software identifican y reconocen características distintivas en la imagen, como puntos de referencia o marcadores. Esto permite al sistema comprender la posición y la orientación del dispositivo en relación con el entorno.

**Superposición de elementos virtuales:** Una vez que se ha realizado el reconocimiento y el seguimiento del entorno, el software superpone elementos virtuales, como imágenes, gráficos, texto o modelos 3D, sobre la vista en vivo del mundo real capturada por la cámara. Estos elementos virtuales están correctamente alineados y



anclados en el entorno físico, lo que crea la ilusión de que forman parte del mundo real.

**Interacción:** Los usuarios pueden interactuar con los elementos virtuales superpuestos utilizando gestos, toques o comandos de voz, dependiendo del dispositivo y la aplicación utilizada. Por ejemplo, pueden tocar un objeto virtual para obtener más información, moverlo o manipularlo, o realizar acciones específicas dentro de la aplicación de AR.

**Visualización:** Finalmente, la vista combinada del mundo real y los elementos virtuales se muestra en la pantalla del dispositivo, permitiendo a los usuarios ver e interactuar con la experiencia de realidad aumentada.

La AR utiliza sensores y algoritmos de reconocimiento para buscar colores, patrones y características similares para comprender el mundo que la rodea. Luego, utilizando una combinación de GPS, acelerómetros, brújulas y giroscopios, las aplicaciones AR superponen objetos digitales en entornos del mundo real. Los usuarios podrán acceder a la realidad aumentada a través de estos gadgets:

- **Dispositivos portátiles:** Los usuarios pueden permitir el “acceso a la cámara” en sus tabletas o teléfonos inteligentes para disfrutar de experiencias de RA. Las aplicaciones de AR capturan imágenes del mundo real desde cámaras móviles y les superponen elementos virtuales. Finalmente, los usuarios pueden visualizarlos en las pantallas de sus móviles. Ej. Pokémon GO, es el caso de uso de AR más popular.
- **Auriculares y gafas AR:** Estos dispositivos no llevan a los usuarios a un entorno totalmente inmersivo. En cambio, simplemente añaden elementos digitales al mundo físico. Por ejemplo, las gafas del fabricante chino Oppo modelo Air Glass 3.

Figura 60, Gafas para AR



Fuente: (Sanz, 2024)

## REALIDAD VIRTUAL

La Realidad Virtual (VR) sumerge a los usuarios en entornos totalmente digitales, creando una sensación de presencia e interactividad. Es decir, sumerge a los usuarios en un entorno tridimensional (3D) generado por computadora donde pueden interactuar con elementos digitales desde una perspectiva en primera persona. Estas experiencias totalmente intuitivas separan a los usuarios del mundo real. Las experiencias de RV más innovadoras ofrecen incluso libertad de movimiento: los usuarios pueden escuchar sonidos artificiales y ver imágenes realistas en un espacio digital como si estuvieran en el mundo real.

La VR combina hardware (controladores, auriculares y cintas de correr) y software (administración de contenidos, motores de juegos y simuladores de entrenamiento) para crear estas experiencias totalmente inmersivas. Esta tecnología se combina para transportar a los usuarios a un mundo generado por computador donde pueden interactuar con su entorno y con otros usuarios, representados como avatares

Los usuarios pueden disfrutar de la realidad virtual utilizando dos tipos de auriculares:

- **Auriculares conectados a una PC:** Estos auriculares de realidad virtual se conectan a una PC o consola de juegos para generar experiencias virtuales realistas y de alta calidad. Dado que las PC modernas cuentan con una enorme potencia de procesamiento, crean los mundos digitales más atractivos. Los usuarios también pueden combinar controladores especiales con cascos de realidad virtual. Aquí, pueden interactuar con espacios digitales increíbles e interactuar con otros usuarios.
- **Auriculares independientes:** Estos auriculares de realidad virtual no dependen de PC ni de consolas. En cambio, brindan experiencias intuitivas a través de las pantallas de los teléfonos inteligentes. Todo lo que los usuarios tienen que hacer es deslizar sus

teléfonos inteligentes en los auriculares para disfrutar de estos dispositivos rentables

Figura 61. Entorno de VR



Fuente: (Torrendell, 2024)

Los avances en VR a nivel mundial se vieron estancados en las dos últimas décadas, científicos pioneros se detuvieron por falta de recursos, pues si se deseaba generar contenidos virtuales sin duda se necesitaban recursos y equipamiento grande de computadoras, hoy con una tarjeta de gráficos medianamente poderosa, se puede generar y visualizar contenidos en RV.

## **REALIDAD MIXTA**

Los usuarios pueden ver y ajustar objetos de entornos tanto reales como virtuales. La MR es un término que se utiliza a menudo para describir experiencias que combinan elementos de RV y RA de manera que los objetos virtuales pueden interactuar con el entorno físico y viceversa. Se puede utilizar esta realidad para simular los productos de ingeniería, comprobar si hay fallas, saber cómo funcionarán en el entorno real y monitorear las soluciones. Sin embargo, la MR consume mucha más potencia de procesamiento que la RA y la RV, lo que la convierte en la tecnología menos accesible.

Los usuarios pueden disfrutar de experiencias de MR utilizando estos dispositivos:

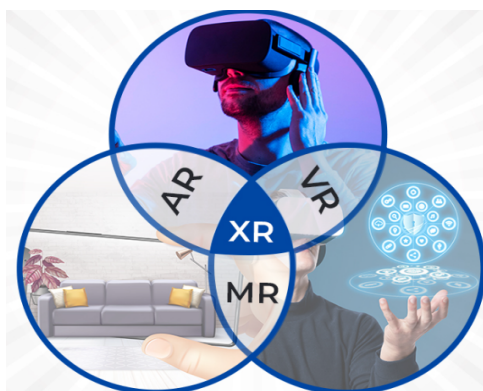
- **Dispositivos holográficos:** Las gafas translúcidas de estos auriculares ofrecen una vista excepcional del entorno. Añaden una capa de interactividad al superponer objetos digitales al mundo real mediante hologramas.

- **Dispositivos inmersivos:** Estos auriculares tienen pantallas no translúcidas que bloquean completamente el mundo físico y utilizan cámaras para realizar un seguimiento.

## REALIDAD EXTENDIDA

La realidad extendida (XR, Extended Reality) surge como una forma de englobar varios conceptos relacionados con experiencias inmersivas que van más allá de la VR, AR y MR.

Figura 62. Enfoque XR



Fuente: (Pandya, 2023)

## COMPUTACIÓN ESPACIAL VS. REALIDAD EXTENDIDA

En este punto es necesario aclarar que la XR se diferencia de la computación espacial. No son lo mismo, aunque están relacionadas en el sentido de que ambas implican la integración de tecnologías digitales con el mundo físico.

Figura 63. Diseño con XR



Fuente: (Theorem XR, 2023)

La XR se refiere a cualquier experiencia que se sitúe en el continuo entre lo completamente virtual y lo completamente real, y puede incluir experiencias que van desde la sobreposición de información digital en el

mundo real hasta la inmersión total en entornos virtuales. Brinda soluciones para revisión de diseño, diseño y planificación de fábrica, visualización y el gemelo digital visual a gran escala y en contexto.

## METAVERSO

El metaverso se refiere específicamente a un espacio virtual persistente y compartido donde los usuarios pueden interactuar entre sí y con entornos virtuales de una manera similar a como lo harían en el mundo físico. Por otro lado, XR es un término más amplio que engloba todas las formas de experiencias inmersivas, incluyendo la realidad virtual, la realidad aumentada y la realidad mixta, entre otras. El metaverso se refiere a un concepto de un espacio virtual tridimensional persistente y compartido, que está creado por la convergencia de mundos virtuales, realidades aumentadas y otras formas de interacción digital.

En un metaverso, los usuarios pueden interactuar entre sí y con objetos y entornos virtuales de manera similar a como lo hacen en el mundo físico, pero con una gama mucho más amplia de posibilidades y experiencias. El metaverso es conceptualmente similar a un universo virtual en el que las personas pueden vivir, trabajar, jugar y socializar. Estos mundos virtuales se pueden utilizar para una variedad de aplicaciones, como la construcción de mundos masivos, la creación de entornos de simulación para robots y vehículos autónomos, la simulación de comandos basados en voz en el mundo digital, etc. Algunos ejemplos de mundos digitales son los realizados en plataformas Omniverse<sup>2</sup> de Nvidia. Véase en figura 64 y 65.

Figura 64. Metaverso y entorno con avatar



<sup>2</sup> Más detalles en: <https://www.nvidia.com/es-la/omniverse/>

Fuente: (Zawish & et al, 2023)

Omniverse proporciona a los desarrolladores los componentes básicos (herramientas de desarrollo, API y microservicios) para unir silos de datos, conectar equipos en tiempo real y crear simulaciones físicamente precisas a escala mundial.

Figura 65. Diseño de entornos para Metaverso



Fuente: (Zawish & et al, 2023)

La AI será responsable no solo de crear mundos digitales realistas, sino también de probar la automatización dentro del Metaverso. Esto implica crear un entorno virtual que sea lo suficientemente inmersivo, interactivo y escalable para atraer a una gran cantidad de usuarios y ofrecerles experiencias significativas y satisfactorias. Por aquello existen desafíos por superar. Los retos para el metaverso son:

- **Interoperabilidad:** Lograr la compatibilidad entre diferentes plataformas y mundos virtuales para facilitar la transferencia de datos y la interacción entre usuarios.
- **Escalabilidad:** Construir infraestructuras tecnológicas capaces de soportar grandes cantidades de usuarios sin degradación del rendimiento.
- **Estandarización:** Establecer estándares y protocolos de comunicación comunes para garantizar la coherencia y la consistencia en la experiencia del usuario entre diferentes entornos virtuales.
- **Seguridad y privacidad:** Asegurar la protección de los datos personales y la seguridad de los usuarios en un entorno virtual donde la interacción social es fundamental.
- **Accesibilidad:** Garantizar que el metaverso sea accesible para personas de todas las habilidades y capacidades, incluyendo aquellos con discapacidades físicas o cognitivas.

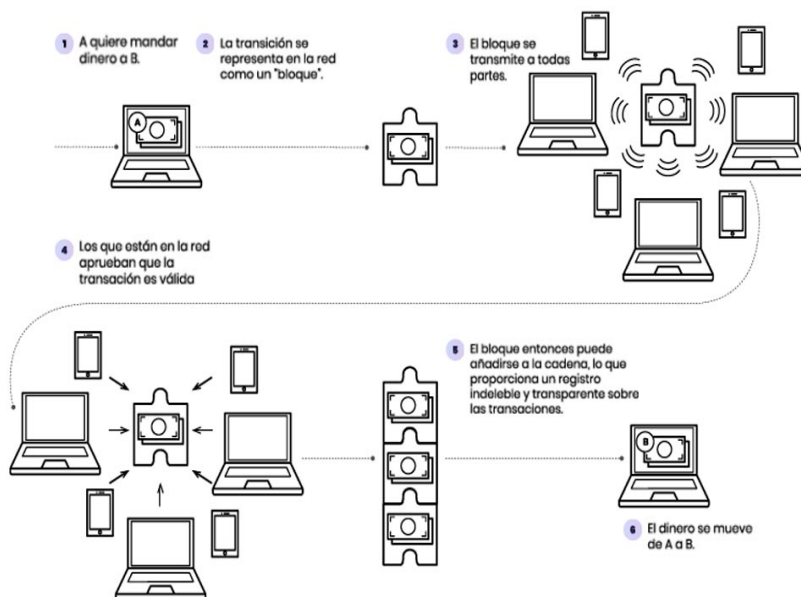
- **Inclusión:** Promover la diversidad y la inclusión para que todos los usuarios se sientan representados y bienvenidos, independientemente de su origen, género u orientación sexual.
- **Sostenibilidad:** Considerar y minimizar el impacto ambiental del metaverso a medida que crece y se expande.

**BLOCKCHAIN:**

La tecnología Blockchain (BK) ofrece una forma segura y descentralizada de almacenar y gestionar datos en redes IoT. Proporciona transparencia, integridad y seguridad al permitir que múltiples partes confíen en un registro compartido de eventos y transacciones. A diferencia de los sistemas tradicionales de bases de datos centralizadas, donde la información se almacena en un solo lugar y es controlada por una autoridad central, en una cadena de bloques la información se almacena en una red de computadoras interconectadas llamadas nodos. Así cada nodo en la red tiene una copia idéntica del registro de datos, lo que garantiza que la información sea resistente a la manipulación y la corrupción.

El caso de BK de contratos inteligentes suele utilizar tres tipos de nodos, que son computadoras conectadas a la cadena de bloques: nodos completos, nodos ligeros y supernodos o validadores. Los nodos completos almacenan copias completas del libro mayor de BK. Los nodos ligeros almacenan una versión trunca de la cadena de bloques. Los super nodos o validadores validan las transacciones de contratos inteligentes. (Huffman, 2024).

Figura 66 Funcionamiento de BK

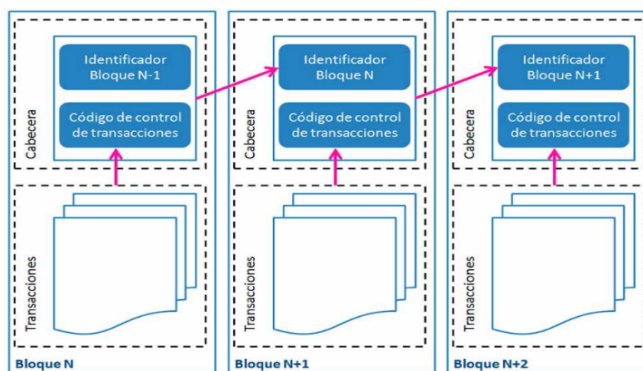


Fuente: (Jurado, 2021)

Actualmente, BK en el sector bancario facilita transacciones seguras, confiables e irrevocables entre dos partes sin la intervención de intermediarios, lo que resulta en ahorros significativos de costos. Además, al estar descentralizada y distribuida en múltiples nodos independientes, aporta una validez y confianza adicionales. Es imposible falsificarla, ya que las transacciones son inalterables y se registra un historial completo en la base de datos, lo que permite la visibilidad de cada transacción realizada. Los contratos inteligentes son programas informáticos autoejecutables que se ejecutan en una cadena de bloques.

Estos contratos permiten el intercambio de valor de forma automática y segura cuando se cumplen ciertas condiciones preestablecidas, eliminando la necesidad de intermediarios y aumentando la transparencia y la eficiencia en las transacciones.

Figura 67. Contratos inteligentes o Smart contract



Fuente: (Jurado, 2021)

La información en sí no se guarda directamente en los bloques, ya que suele residir en otro medio. Sin embargo, en términos generales, la información contenida puede clasificarse en tres categorías:

1. Detalles de la transacción, que incluyen la fecha, hora, tipo de moneda, cantidad transferida y un enlace al producto o servicio involucrado.
2. Identificación de las partes involucradas en la transacción, como nombres, firmas digitales o identificadores de usuario en la red.
3. Datos relacionados con el bloque en sí, como su código único conocido como "hash", que garantiza la unicidad del bloque y su integridad en caso de repeticiones de la misma transacción.

Generalmente en BK los datos se agrupan en bloques, vinculados entre sí mediante criptografía para formar una cadena continua y secuencial. Cada bloque contiene un conjunto de transacciones verificadas y

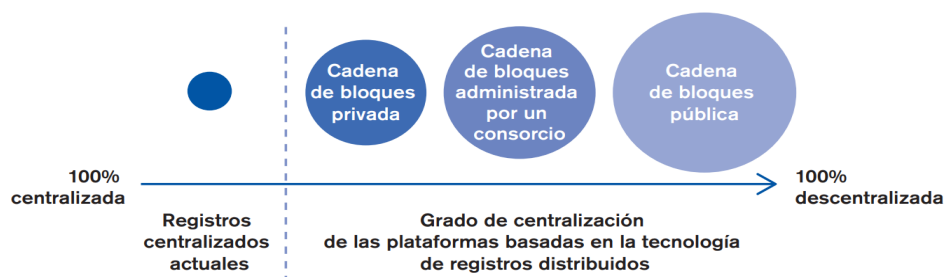


selladas digitalmente, y una vez que se agrega a la cadena, no se puede modificar sin afectar a los bloques subsiguientes.

## TIPOS DE BLOCKCHAIN

Se pueden distinguir los siguientes tipos de BK:

Figura 68 Tipos de BK según el grado de descentralización



Fuente: (Ganne, 2018)

## BLOCKCHAIN PÚBLICA:

Las cadenas de bloques públicas son transparentes y no requieren permisos. Los usuarios acceden a la BK utilizando direcciones de billetera criptográfica, lo que les permite mantener identidades seudónimas. Cualquier persona puede participar en una cadena de bloques pública. Los datos de las transacciones son públicos, aunque algunas cadenas de bloques centradas en la privacidad pueden ocultar detalles específicos, como los montos de las transacciones (LISA Institute, 2022).

## VENTAJAS:

**Descentralización:** La mayoría de las BK públicas están descentralizadas gracias al uso de copias distribuidas del libro mayor mantenidas en nodos individuales conectados a la red. La validación de las transacciones también se realiza a través de nodos distribuidos llegando a un consenso.

**Acceso abierto:** A través de direcciones de billetera de criptomonedas, lo que permite a cualquier persona acceder a la cadena de bloques y a las aplicaciones alojadas, conocidas como contratos inteligentes.

## DESAFÍOS:

**Escalabilidad/Velocidad:** El consenso distribuido en las redes públicas de BK puede provocar velocidades de transacción más lentas.

**Costo:** Los participantes en las BK públicas compiten por el espacio en cada bloque para finalizar las transacciones, lo que puede generar mayores costos. Además, el precio volátil de las criptomonedas puede aumentar los costos de transacción.

### **CASOS DE USO:**

**Rieles de pago (payment rails):** Las BK públicas ofrecen una forma sin permiso de enviar o recibir valor sin intermediarios tradicionales. incluyen transferencias bancarias, redes de tarjetas de crédito/débito, servicios de pago como PayPal, o plataformas como SWIFT (Society for Worldwide Interbank Financial Telecommunication) para pagos internacionales.

**Finanzas descentralizadas (DeFi):** Los contratos inteligentes en las aplicaciones DeFi permiten a los usuarios participar en préstamos, intercambios y otros servicios financieros sin intermediarios.

**Juegos:** Las BK públicas admiten activos digitales únicos, como tokens no fungibles (NFT, Non Fungible Token), que son útiles en juegos donde los activos del juego se pueden intercambiar y poseer de manera transparente.

**Telecomunicaciones:** Específicamente en el roaming internacional, mejora la eficiencia, reduce los costos y brinda mayor seguridad y transparencia a los acuerdos entre operadores.

### **EJEMPLO DE BK PÚBLICA:**

Ethereum es una BK pública que admite contratos inteligentes, lo que la hace popular para aplicaciones de pago, DeFi y juegos. Los exploradores de BK como Etherscan permiten a cualquier persona ver y verificar las transacciones almacenadas en la cadena de bloques.

Figura 69. Transacciones en la Blockchain de Ethereum

Latest Blocks			Customize	Latest Transactions			Customize
19393151	Fee Recipient <code>rsync-builder</code>	133 txns in 12 secs	0.087 Eth	0x8d09a4ca32...	From 0x1f9090aa...8e676c326 To 0xe688b84b...2CDB71127	0.07885 Eth	
19393150	Fee Recipient <code>0x88c6C46E...1dAA8134A</code>	125 txns in 12 secs	0.08051 Eth	0xf9fab7fd086...	From 0x551c2EaE...B6152FF0 To 0x3fC91A3a...D4B2b7FAD	0 Eth	
19393149	Fee Recipient <code>rsync-builder</code>	172 txns in 12 secs	0.20297 Eth	0xe140254478...	From 0xbcD4c6D0...0C369d669 To 0xDef1C0de...027b25EFf	0 Eth	
19393148	Fee Recipient <code>0x67e451f6...EE6B05574</code>	273 txns in 24 secs	0.04249 Eth	0xe5bc29fecdd0...	From 0xbcD4c6D0...0C369d669 To 0xA0b86991...E3606eB48	0 Eth	
19393147	Fee Recipient <code>Flashbots: Builder</code>	130 txns in 12 secs	0.06462 Eth	0xbb1b6fdcd66...	From 0x732ac356...4b162d1F9 To 0x145970b3...d61D292f8	10.75265 Eth	
19393146	Fee Recipient <code>Fee Recipient: 0x5...</code>	181 txns in 12 secs	0.05311 Eth	0xe37e2e393c...	From 0x94EA747F...DdfD85c1e To 0xDef1C0de...027b25EFf	0.05469 Eth	

Fuente: (Huffman, 2024)

## CADENA DE BLOQUES PRIVADA

A diferencia de las BK públicas, las cadenas de bloques privadas requieren permisos para el acceso, lo que significa que solo usuarios específicos o direcciones de billetera tienen acceso. Esta configuración permite proteger información privada o exclusiva mientras se mantiene la integridad de los datos en una línea de tiempo. A veces, las cadenas privadas también se conocen como libros de contabilidad distribuidos autorizados.

### VENTAJAS:

**Acceso controlado y privacidad:** La restricción de acceso en las BK privadas permite a las organizaciones documentar datos y transacciones en una línea de tiempo mientras protegen información privada o exclusiva.

**Consenso optimizado:** El consenso centralizado permite a las organizaciones elegir métodos de consenso más rápidos utilizando menos nodos.

### DESAFÍOS:

**Interoperabilidad:** Las BK privadas a menudo existen como entidades aisladas, incapaces de comunicarse bidireccionalmente con otras cadenas de bloques.

**Control centralizado:** Las redes privadas de BK pueden tener un único punto de fallo, lo que podría comprometer la cadena de bloques si la organización falla.

**Sin acceso público:** Los datos almacenados en BK privadas no están disponibles públicamente. Algunas aplicaciones pueden permitir el acceso público a ciertos datos mientras restringen el acceso a otros.

### **CASOS DE USO:**

Las BK privadas son adecuadas para aplicaciones financieras como bancos e intercambios. Otros casos de uso incluyen aplicaciones de identidad, proveedores de seguros y gestión de activos digitales.

### **EJEMPLO DE BK PRIVADA:**

Chubb, una aseguradora internacional de alto valor, utiliza la tecnología BK para gestionar pólizas multinacionales. Esta implementación automatiza los flujos de trabajo entre oficinas, agilizando los procesos y mejorando el servicio al cliente

### **BLOCKCHAIN HÍBRIDA**

Una BK híbrida combina acceso abierto a ciertos datos con la protección de información confidencial mediante acceso autorizado.

### **BENEFICIOS:**

**Acceso público y privado:** Las redes de BK híbridas pueden configurarse para ofrecer transparencia limitada y protección de datos confidenciales, como identidades o información financiera.

**Interoperabilidad:** Los elementos públicos de las BK híbridas pueden integrarse en otras cadenas de bloques. Por ejemplo, los activos tokenizados pueden usarse como garantía en otras cadenas de bloques.

**Escalabilidad:** Las BK híbridas pueden no requerir el mismo nivel de descentralización que las cadenas públicas, lo que permite un consenso más rápido y la capacidad de procesar más transacciones.

### **DESAFÍOS:**

**Control centralizado:** Aunque algunas partes de las BK híbridas ofrecen transparencia, la necesidad de privacidad puede llevar a un control centralizado, lo que puede afectar los datos y activos almacenados en la cadena.

**Complejidad y costos:** Dependiendo de su estructura, construir y mantener una cadena híbrida puede aumentar los costos y la complejidad del desarrollo.

### **CASOS DE USO:**

Las BK híbridas pueden ser una solución mejor para aplicaciones donde el intercambio limitado de datos es beneficioso. Por ejemplo, en el caso de la votación, algunos datos de votación pueden registrarse en una cadena de bloques pública mientras se protege la identidad de los votantes.

### **EJEMPLO DE BK HÍBRIDA:**

La red LTO utiliza una capa privada y una capa pública para tokenizar activos del mundo real (RWA). La capa pública asegura y verifica las transacciones de manera transparente, mientras que la capa privada protege la privacidad del usuario en relación con la identidad y los activos.

### **CADENA DE BLOQUES DE CONSORCIO**

Las BK de consorcio son particularmente útiles para grupos industriales, ya que permiten compartir datos al tiempo que brindan la capacidad de proteger información exclusiva. Este tipo de cadena funciona de manera similar a una cadena híbrida, donde algunos datos están disponibles abiertamente mientras que otros están protegidos. Sin embargo, los datos "públicos" aún están restringidos a usuarios autorizados dentro del consorcio.

La gestión de la cadena es responsabilidad colectiva del consorcio, determinando qué datos son accesibles para quién y cómo se alcanza el consenso para validar transacciones.

### **VENTAJAS:**

**Datos compartidos:** Las cadenas de bloques de consorcio permiten rastrear movimientos o registrar datos que benefician al grupo en su conjunto.

**Costo compartido:** En comparación con las cadenas de bloques privadas dedicadas, los consorcios permiten compartir tanto datos como costos, lo que puede ser más económico.

### **DESAFÍOS:**

**Complejidad:** La construcción y administración de redes de BK de consorcio puede ser más compleja que las redes privadas.

**Cooperación:** Tomar decisiones sobre la BK puede ser más desafiante, especialmente cuando involucra a organizaciones o empresas competidoras.

### **CASOS DE USO:**

Las BK de consorcio son útiles principalmente en el seguimiento de la cadena de suministro, pero también pueden beneficiar a cualquier grupo industrial que comparta información.

### **EJEMPLO DE BK DE CONSORCIO:**

IBM Food Trust utiliza tecnología BK para certificar la cadena de suministro de alimentos. Productores, proveedores, minoristas y procesadores de alimentos están conectados, permitiendo el seguimiento de la cadena de suministro desde el origen hasta la tienda.

### **PLATAFORMAS DE DESARROLLO BLOCKCHAIN**

Diversos proveedores y plataformas ofrecen servicios de desarrollo de BK, lo que permite a empresas y organizaciones crear una BK pública, privada, híbrida o de consorcio adaptada a sus necesidades específicas. Estas soluciones ayudan a mitigar el riesgo asociado con la construcción de una cadena interna o el desarrollo de abastecimiento al aprovechar modelos probados que ya se utilizan en otros contextos y aplicaciones similares.

Por ejemplo, Hyperledger<sup>3</sup>, una plataforma BK de código abierto, cuenta con la participación de empresas globales como Accenture y Oracle. Aunque se suele asociar a Bitcoin y Ethereum con BK el alcance de su aplicación va mucho más allá de los pagos y el comercio.

Los cuatro tipos de BK ofrecen una vía para utilizar esta tecnología en nuevas aplicaciones, algunas de las cuales pueden requerir protección de datos. Mientras que las redes públicas captan la atención mediática, las cadenas de bloques privadas, híbridas y de consorcios operan en segundo plano, abarcando desde el sector financiero hasta la cadena de suministro de alimentos

### **SENSORES AVANZADOS**

El desarrollo de sensores cada vez más pequeños, precisos y asequibles está impulsando el crecimiento del IoT al permitir la recopilación de una amplia variedad de datos del mundo físico. A diferencia de un sensor normal, un sensor avanzado puede nombrarse "inteligente" y no sólo puede medir una cantidad física, sino también procesar información, comunicarse con otros dispositivos, y tomar decisiones. Además, son más rápidos, más precisos e incluso pueden consumir menos energía.

---

<sup>3</sup> Más detalles en: <https://www.hyperledger.org/>

Normalmente utilizan los siguientes componentes:

- El propio sensor para recoger los datos.
- Microprocesador para producir salida de datos.
- Comunicación inalámbrica para enviar salida a una ubicación de red específica.

Por ejemplo, estos sensores avanzados, pueden monitorear objetos en movimiento, medir la distancia a áreas de difícil acceso mediante ultrasonido y conectarse con equipos potencialmente peligrosos, lo que aumenta la seguridad de los trabajadores. Además, los sensores inteligentes ahora pueden realizar funciones que sólo pueden realizar equipos complejos.

Como se ha indicado, estos sensores van más allá de simplemente medir una cantidad física; también tienen la capacidad de procesar información. Esto significa que pueden analizar los datos recolectados en tiempo real y tomar decisiones basadas en algoritmos predefinidos o aprendizaje automático. Se espera que el desarrollo y uso de memristores y/o memcapacitores dispositivos con memoria potencien las capacidades de los microcontroladores y procesadores.

La capacidad de comunicarse con otros dispositivos es otra característica importante. Los sensores inteligentes pueden enviar datos a otros dispositivos o sistemas para su análisis o acción, lo que los hace fundamentales para aplicaciones de IoT.

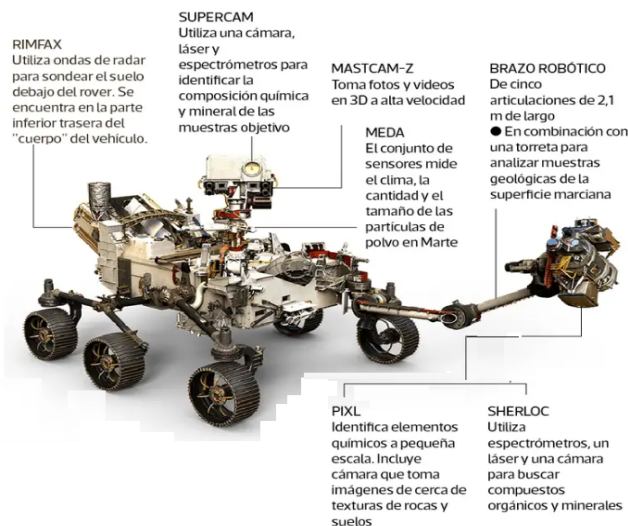
### **DIFERENCIAS ENTRE SENSORES CIENTÍFICOS E INDUSTRIALES:**

Los sensores científicos están diseñados principalmente para aplicaciones de laboratorio o investigación, donde la precisión y la fiabilidad son fundamentales. Estos sensores suelen tener una alta resolución y exactitud en sus mediciones, pero pueden ser costosos y no siempre son adecuados para entornos industriales. Los sensores industriales están optimizados para entornos de fabricación, control de procesos y monitorización en tiempo real. Suelen ser más robustos y están diseñados para soportar condiciones adversas, como temperaturas extremas, vibraciones o exposición a productos químicos. Sin embargo, con el avance de la tecnología, las líneas entre los sensores científicos e industriales están cada vez más borrosas, ya que muchos sensores ahora están diseñados para ser versátiles y adaptables a una variedad de aplicaciones.

Los sensores avanzados destacan por incorporar tecnologías innovadoras y capacidades multifuncionales que pueden aplicarse tanto

en contextos científicos como industriales, mientras que los sensores científicos y industriales están más enfocados en sus respectivas áreas de precisión y robustez.

Figura 70. Perseverance y sus sensores científicos



Fuente: (Montes, 2019)

Las nuevas aplicaciones y modelos de negocio emergentes, junto con la caída de los costos de los dispositivos, han impulsado significativamente la adopción de IoT. En consecuencia, muchos dispositivos conectados: automóviles, máquinas, medidores, dispositivos portátiles y productos electrónicos de consumo conectados. (Mordor Intelligence, 2024).

### CONVERGENCIA EN EL IOT:

Tanto los sensores científicos como los industriales desempeñan un papel importante en el IoT. Los sensores científicos pueden utilizarse para recopilar datos precisos en aplicaciones de salud, medio ambiente o investigación, mientras que los sensores industriales son esenciales para monitorizar y controlar procesos en fábricas, plantas de energía y sistemas de transporte, entre otros.

En el contexto del IoT, todos estos tipos de sensores pueden integrarse en una red interconectada, donde los datos recopilados se pueden compartir, analizar y utilizar para tomar decisiones en tiempo real. Esto permite la automatización de procesos, la optimización de recursos y la creación de servicios inteligentes en una amplia gama de sectores.



## **CAPÍTULO 4: AGENTES INTELIGENTES**

Un agente puede ser descrito como una entidad que posee cierto grado de autonomía, ya sea parcial o completa, y que actúa de manera racional en función de sus percepciones del entorno y el estado de su conocimiento. En otras palabras, son entidades autónomas capaces de percibir su entorno, tomar decisiones y actuar en consecuencia para alcanzar objetivos específicos. De tal manera observan a través de sensores y actúa sobre un entorno utilizando actuadores y dirige su actividad hacia el logro de objetivos (es decir, es racional). Los agentes inteligentes también pueden aprender o usar el conocimiento para lograr sus objetivos. (Coloma, 2020)

Desde su concepción en la década de 1980, los agentes inteligentes han evolucionado considerablemente, encontrando aplicaciones en una amplia gama de campos, incluyendo la robótica, los sistemas de información, los juegos y la automatización industrial. De esta manera los agentes inteligentes representan una poderosa herramienta para modelar sistemas autónomos capaces de percibir, actuar y razonar en entornos dinámicos.

Desde una perspectiva estructural, un agente puede ser dividido en dos componentes principales. En primer lugar, se encuentra el conocimiento que el agente posee sobre el mundo exterior, las habilidades de otros agentes y las propias, así como sus áreas de interés. En segundo lugar, se encuentra el proceso dinámico que el agente lleva a cabo para interpretar los mensajes recibidos, lo que determinará su comportamiento y razonamiento frente a problemas e información nueva. Para facilitar esta interacción, el agente se apoya en un lenguaje de comunicación externa para interactuar con otros agentes, así como en un lenguaje interno para la comunicación entre sus propias componentes. Además, cuenta con un conjunto de métodos que le permiten procesar estos mensajes de manera efectiva.

### **AGENTES REACTIVOS:**

Los agentes reactivos son aquellos que toman decisiones basadas únicamente en la percepción actual del entorno. Estos agentes no mantienen un modelo interno del mundo ni planifican acciones futuras, sino que responden directamente a los estímulos del entorno. Aunque son simples y eficientes en entornos dinámicos y reactivos, su capacidad está limitada por la falta de planificación a largo plazo.

### **AGENTES DELIBERATIVOS:**

Los agentes deliberativos utilizan un modelo interno del mundo para tomar decisiones. Pueden considerar múltiples acciones posibles y evaluar sus consecuencias antes de actuar. Estos agentes son capaces de planificar y ejecutar acciones de acuerdo a sus objetivos y conocimiento

del entorno. Aunque son más complejos que los agentes reactivos, son adecuados para entornos cambiantes donde se requiere planificación a largo plazo.

**AGENTES BASADOS EN METAS:**

Los agentes basados en metas establecen objetivos y buscan alcanzarlos de manera eficiente. Adaptan su comportamiento para maximizar la satisfacción de las metas establecidas. Estos agentes pueden priorizar y ajustar sus acciones en función de la importancia relativa de cada meta. Son útiles en aplicaciones donde se requiere optimización de recursos y logro de objetivos específicos.

**AGENTES BASADOS EN APRENDIZAJE:**

Los agentes basados en aprendizaje son capaces de mejorar su desempeño a partir de la experiencia o la interacción con el entorno. Utilizan algoritmos de aprendizaje para ajustar su comportamiento y mejorar su rendimiento con el tiempo. Estos agentes pueden adaptarse y mejorar continuamente en función de la retroalimentación recibida, lo que los hace adecuados para una amplia gama de aplicaciones.

A nivel industrial, un agente inteligente puede detectar con anticipación fallas en el funcionamiento de una máquina o de un parque de máquinas. A través de la detección anticipada de fallas en el funcionamiento de máquinas individuales o en un conjunto de máquinas. Esto se logra mediante la aplicación de algoritmos de análisis de datos avanzados, como técnicas de aprendizaje automático y procesamiento de señales, para examinar y procesar grandes volúmenes de datos recopilados durante un intervalo de tiempo específico.

Figura 71. Mantenimiento predictivo y diagnóstico de falla identificado



Fuente: (Vedan, 2020)

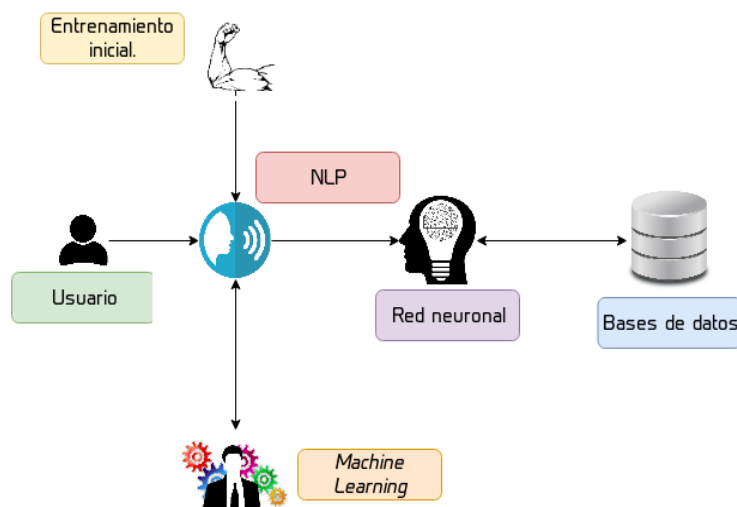
El agente inteligente utiliza estos datos para identificar patrones, anomalías y tendencias que puedan indicar un posible fallo inminente en una máquina. Esto puede incluir la detección de cambios en el rendimiento, fluctuaciones en las lecturas de sensores, o cualquier otra señal de alerta temprana. Una vez que se detecta una posible falla, el agente puede tomar medidas proactivas, como notificar al personal de mantenimiento, programar una inspección o realizar ajustes en la operación para prevenir una interrupción no planificada en la producción.

**AGENTES BASADOS EN LENGUAJE:**

Los agentes basados en lenguaje utilizan modelos avanzados de procesamiento de lenguaje natural para comprender, interactuar y tomar decisiones en entornos donde el lenguaje natural es fundamental para la comunicación y el procesamiento de información. Estos agentes pueden comprender y generar lenguaje natural, analizar texto, realizar traducciones automáticas y procesar preguntas y respuestas.

El caso de un chatbot, estos agentes virtuales nos hacen más sencilla la vida pueden clasificarse en dos: los que utilizan procesamiento natural del lenguaje (NLP Natural Language Processing) y los que no la utilizan. Un chatbot sin NLP o basado en flujos guiados a través de sus botones, preguntas cerradas y búsquedas de palabras clave puede realizar transacciones dependiendo del caso de uso de manera más rápida y efectiva.

Figura 72, Funcionamiento de un chatbot



Fuente: (Ruelas, 2018)

Uno chatbot con NLP se encuadran dentro de la categoría de agentes inteligentes basados en lenguaje ya que permite interacciones sin límite de entrada, al carecer de sistema de diálogo guiado y sin un cierre de

conversación claramente definido, puede caer en un atolladero, algo que sería fácilmente solucionable con un simple botón de un chatbot sin NLP.

Dependiendo de su nivel de sofisticación y capacidades, los chatbots pueden clasificarse en diferentes tipos de agentes inteligentes, como agentes reactivos, deliberativos o basados en aprendizaje, según cómo procesen la información y tomen decisiones en función de las interacciones con los usuarios y el entorno. Aunque se aclara que un agente inteligente puede no ser solo un software, puede ser también un robot autónomo y que, en conjunto con otros agentes de igual capacidad pueden colaborar, cooperar y negociar para lograr objetivos comunes. Los robots autónomos que trabajan en equipo, se pueden aplicar varios enfoques y técnicas de inteligencia artificial distribuida y sistemas multiagente. Estos sistemas pueden incluir agentes reactivos, deliberativos, basados en metas y basados en aprendizaje, entre otros.

### **RELACIONES ENTRE LOS AGENTES:**

Los diferentes tipos de agentes inteligentes pueden interactuar entre sí y colaborar en entornos complejos. Por ejemplo, los agentes basados en metas pueden coordinar y dirigir a otros agentes para lograr objetivos específicos. Los agentes basados en aprendizaje pueden mejorar su rendimiento a partir de la experiencia proporcionada por otros agentes. Estas interacciones vienen de la inteligencia artificial distribuida y pueden dar lugar a sistemas multiagente robustos y adaptativos.

### **TECNOLOGÍAS EMERGENTES:**

- **Aprendizaje Profundo:** El uso de redes neuronales profundas ha revolucionado el campo del aprendizaje automático, permitiendo a los agentes inteligentes aprender representaciones complejas directamente de los datos.
- **Computación Distribuida:** La computación distribuida permite la colaboración entre múltiples agentes, lo que facilita la resolución de problemas complejos y la coordinación de actividades en entornos dinámicos.

### **INTELIGENCIA ARTIFICIAL DISTRIBUIDA**

La inteligencia artificial distribuida (DAI, Distributed Artificial Intelligence) se refiere al enfoque en el cual múltiples agentes de inteligencia artificial interactúan y colaboran entre sí para lograr objetivos comunes. Esto contrasta con los enfoques centralizados de la inteligencia artificial, donde un único agente o sistema toma decisiones para todo el sistema. Un ejemplo sería un sistema de transporte inteligente donde múltiples vehículos autónomos colaboran para

optimizar rutas, evitar congestionamientos y mejorar la seguridad vial mediante la comunicación y coordinación entre ellos.

## **SISTEMAS MULTIAGENTES**

Los sistemas multiagente (MAS, Multi-Agent System) son un subconjunto de la DAI. En los MAS, múltiples agentes autónomos interactúan entre sí y con su entorno para lograr objetivos individuales y/o colectivos. Cada agente en un MAS tiene su propia percepción del entorno, capacidad para tomar decisiones y acciones independientes, y a menudo tiene información parcial o incompleta sobre el sistema en su conjunto.

La relación entre la inteligencia artificial distribuida y los sistemas multiagente radica en que los últimos son una forma específica de implementar la DAI. Los MAS son una forma práctica de diseñar sistemas distribuidos en los que múltiples agentes trabajan juntos para resolver problemas complejos. Estos agentes pueden tener diferentes roles, capacidades y conocimientos, lo que les permite colaborar de manera efectiva para alcanzar objetivos comunes.

Algunos ejemplos de aplicaciones de la inteligencia artificial distribuida mediante MAS incluyen:

**Sistemas de transporte inteligente:** Los MAS pueden coordinar la gestión del tráfico, la planificación de rutas y la optimización del flujo de vehículos en tiempo real.

**Gestión de la cadena de suministro:** Los agentes pueden colaborar en la planificación de la producción, el almacenamiento y la distribución de bienes para minimizar costos y maximizar la eficiencia.

**Redes de sensores inalámbricos:** Los MAS pueden coordinar la recolección de datos y la toma de decisiones en redes de sensores distribuidos para aplicaciones como monitoreo ambiental, seguridad y salud.

**Sistemas de recomendación:** Los agentes pueden colaborar para analizar grandes conjuntos de datos y ofrecer recomendaciones personalizadas a los usuarios en plataformas de comercio electrónico, entretenimiento en línea y redes sociales.

## **AGENTES Y SU ENTORNO**

En el contexto de los agentes inteligentes, el entorno se refiere al conjunto de estímulos y condiciones en los que el agente opera y toma

decisiones. Los agentes interactúan con su entorno a través de sensores y actuadores, que les permiten percibir el entorno y actuar en él.

Para un agente humano, los sensores incluyen los órganos sensoriales como los ojos, los oídos y otros receptores sensoriales que permiten percibir el mundo exterior. Los actuadores consisten en partes del cuerpo como las manos, las piernas y la boca, que permiten al agente interactuar físicamente con su entorno.

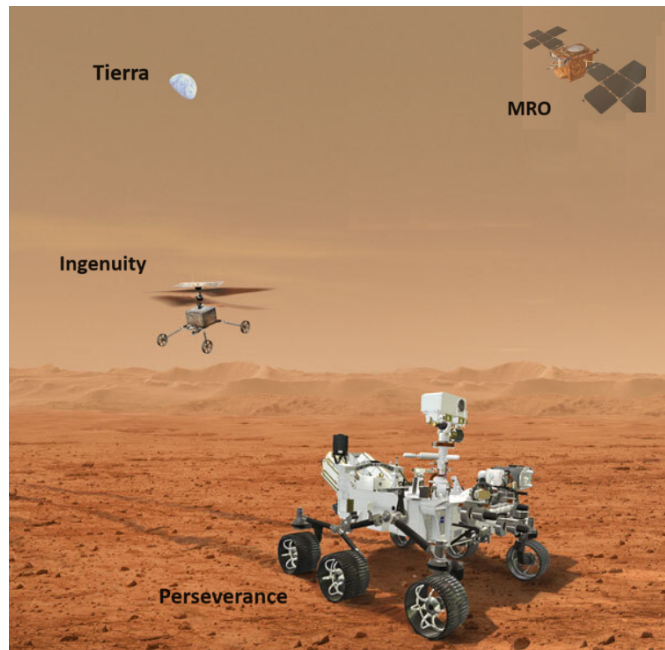
En el caso de un agente robot, los sensores pueden ser dispositivos como cámaras, micrófonos o sensores de proximidad, que recopilan información del entorno. Los actuadores pueden ser dispositivos como pantallas, altavoces o motores, que permiten al agente realizar acciones físicas o emitir señales al entorno. La especificación del entorno de trabajo es una parte fundamental del proceso de diseño y desarrollo. El aspecto del entorno o ambiente es un aspecto e incasilla dentro de la categoría de diseño y modelado de sistemas inteligentes, donde se establecen los parámetros y condiciones en los que el agente llevará a cabo sus acciones y tomará decisiones.

La especificación del entorno de trabajo incluye la definición de varios aspectos clave, como las medidas de rendimiento que se utilizarán para evaluar el desempeño del agente, la descripción detallada del entorno en el que operará el agente, así como la identificación de los actuadores y sensores que serán utilizados por el agente para interactuar con su entorno.

### **APLICACIONES PRÁCTICAS:**

Los agentes inteligentes se utilizan en una variedad de aplicaciones prácticas, incluyendo sistemas de transporte inteligente, sistemas de recomendación, asistentes virtuales, robótica autónoma, análisis de datos, juegos y simulaciones, entre otros. Su capacidad para percibir, aprender y tomar decisiones los hace valiosos en entornos complejos y dinámicos donde se requiere adaptación y optimización continua. Un ejemplo es el rover (robot navegador terrestre) Perseverance y el helicóptero Ingenuity que investigan en Marte indicios de vida microbiológica antigua.

Figura 73, Agentes inteligentes en Marte



Fuente (NASA/JPL-Caltech, 2023)

Sus sistemas de AI es lo que permite que funcionen de forma autónoma proporcionando al rover y al helicóptero un grado de inteligencia que le permite operar (e incluso aprender) a medida que se mueve por su entorno y recopila información. Ambos podrían llevar a cabo experimentos científicos en el terreno marciano para estudiar la geología, la composición química y la atmósfera de Marte. Estos equipos robóticos son agentes inteligentes y los datos que detectan como sonidos, imágenes, videos, los envía a la tierra utilizando una sonda llamada Orbitador de Reconocimiento de Marte (MRO). En síntesis, ambos trabajan de manera coordinada para maximizar la eficiencia de la misión. Por ejemplo, Ingenuity vuela por delante de Perseverance, explorando terrenos difíciles y sugiriendo las mejores rutas o áreas de interés.

## PRINCIPIOS FUNDAMENTALES

### PERCEPCIÓN DEL ENTORNO

La percepción del entorno es un componente crucial en el funcionamiento de los agentes inteligentes. A través de la percepción, los agentes recopilan información sobre el mundo que los rodea, lo que les permite comprender su estado actual y tomar decisiones informadas. Existen diversas formas en las que los agentes pueden percibir su entorno, desde sensores físicos hasta fuentes de datos externas. Veamos algunos ejemplos:

**Sensores Físicos:** En un entorno físico, los agentes pueden utilizar una variedad de sensores para recopilar información. Por ejemplo, un



robot móvil puede usar cámaras, sensores de ultrasonido y sensores de contacto para detectar obstáculos, identificar objetos y medir distancias.

**Fuentes de Datos Externas:** Además de los sensores físicos, los agentes inteligentes también pueden aprovechar fuentes de datos externas, como bases de datos en línea, feeds de noticias o redes sociales. Por ejemplo, un agente de análisis de mercado puede recopilar datos de precios de acciones en tiempo real de una fuente en línea para tomar decisiones de inversión.

## ACTUACIÓN EN EL ENTORNO

Una vez que los agentes han percibido su entorno y han generado una representación interna del mismo, deben ser capaces de actuar en consecuencia para lograr sus objetivos. La actuación en el entorno implica ejecutar acciones que afecten al mundo exterior de alguna manera. Veamos algunos ejemplos de cómo los agentes pueden actuar en diferentes tipos de entornos:

- **Entornos Físicos:** En entornos físicos, la actuación puede implicar movimientos físicos, manipulación de objetos o interacción con otros agentes. Por ejemplo, un robot de limpieza puede moverse de manera autónoma por una habitación, detectar áreas sucias y limpiarlas.
- **Entornos Virtuales:** En entornos virtuales, la actuación puede ser completamente digital. Por ejemplo, un agente de software que juega al ajedrez puede realizar movimientos en el tablero virtual y evaluar las consecuencias de cada movimiento utilizando algoritmos de búsqueda.

## ENTORNO O ESCENARIO

El entorno en el que opera un agente inteligente puede variar significativamente, desde entornos físicos complejos hasta simulaciones virtuales altamente controladas. El tipo de entorno puede influir en las capacidades y limitaciones del agente, así como en las estrategias que emplea para alcanzar sus objetivos. Veamos algunos ejemplos de diferentes tipos de entornos:

### 1. ENTORNOS OBSERVABLES

- **Entornos completamente observables:** En estos entornos, el agente tiene acceso completo y directo a toda la información relevante del entorno en cada momento. Puede percibir el estado completo del entorno en cualquier momento dado.
- **Entornos parcialmente observables:** En estos entornos, el agente no tiene acceso directo a toda la información relevante del

entorno en cada momento. Debe inferir el estado del entorno a partir de la información limitada disponible a través de sus sensores.

## **2. ACCESIBILIDAD DEL ENTORNO:**

- **Entornos deterministas:** Aquí las acciones del agente tienen resultados predecibles y consistentes. Dada una situación inicial y una secuencia de acciones, el estado resultante del entorno es siempre el mismo.
- **Entornos estocásticos:** Las acciones del agente pueden tener resultados aleatorios o probabilísticos. El resultado de una acción puede variar incluso cuando se realiza en la misma situación inicial y se repite múltiples veces.
- **Entornos episódicos:** La experiencia del agente se divide en episodios discretos o instantáneas. Cada episodio comienza con una situación inicial, el agente realiza una secuencia de acciones y luego el entorno proporciona una retroalimentación o recompensa.
- **Entornos secuenciales:** Las acciones del agente tienen consecuencias que afectan las futuras decisiones y recompensas. La toma de decisiones del agente se basa en la historia de acciones y observaciones pasadas.

## **OTROS ASPECTOS DEL ENTORNO:**

- **Entornos estáticos vs. dinámicos:** Los entornos estáticos no cambian mientras el agente toma decisiones, mientras que los entornos dinámicos pueden cambiar de manera impredecible durante la operación del agente.
- **Entornos discretos vs. continuos:** Los entornos discretos tienen un número finito de estados y acciones posibles, mientras que los entornos continuos tienen un número infinito de posibles estados y acciones.

## **RAZONAMIENTO QUE APOYA LA TOMA DE DECISIONES**

El razonamiento es un componente fundamental en el proceso de toma de decisiones de un agente inteligente. A través del razonamiento, los agentes evalúan diferentes opciones, consideran sus consecuencias y seleccionan la mejor acción para alcanzar sus objetivos. Veamos cómo funciona el razonamiento en diferentes contextos:

- **Razonamiento Lógico:** En entornos deterministas y bien definidos, los agentes pueden utilizar el razonamiento lógico para deducir las consecuencias de sus acciones. Por ejemplo, un agente de planificación puede utilizar reglas de inferencia para generar planes que logren un objetivo deseado.

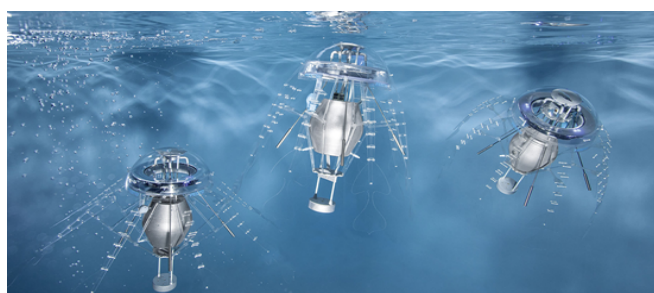
- **Razonamiento Probabilístico:** En entornos inciertos o estocásticos, los agentes pueden utilizar el razonamiento probabilístico para evaluar la probabilidad de diferentes resultados y seleccionar la acción óptima en función de estas probabilidades. Por ejemplo, un agente de diagnóstico médico puede utilizar modelos probabilísticos para evaluar la probabilidad de diferentes enfermedades dado un conjunto de síntomas observados.

A través de ejemplos concretos, se conoce que los agentes perciben su entorno, actúan en él y razonan para tomar decisiones. Al comprender estos conceptos, se puede aprovechar todo el potencial de los agentes inteligentes para abordar una amplia gama de problemas en campos como la robótica, la inteligencia artificial y la automatización industrial, campos que forman parte del ecosistema del IoT.

### CASO DE USO

El sistema multiagente de medusas robóticas Acujellies<sup>4</sup> de FESTO, Cada medusa es un agente autónomo con capacidad de tomar decisiones. Estos interactúan entre sí y con su entorno de manera descentralizada. Es decir, se distribuyen tareas como evitar obstáculos o mantenerse en movimiento de manera coordinada sin necesitar de un controlador central. Por consiguiente, el sistema completo mostrará un comportamiento coordinado y emergente sin una dirección centralizada.

Figura 74. Acujellies en verificación de variables contaminante de agua



Fuente: (FESTO, 2015)

---

<sup>4</sup> Mas detalle en: [https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/293541/Festo\\_AquaJellies\\_2-0\\_en.pdf](https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/293541/Festo_AquaJellies_2-0_en.pdf)

Se plantea el objetivo de realizar de forma conjunta y colaborativa datos en el tratamiento de aguas contaminadas en entornos naturales.

**CONSIGNA:**

1. Defina: percepciones, meta, acciones del agente y entorno que está inmerso, mencionando además que propiedades cumple. Justificar la elección de cada propiedad del ambiente.

2. Elija y diseñe la arquitectura usaría para desarrollar el software del sistema multiagente del caso descrito. Realice un diagrama para la arquitectura elegida.

El sistema multiagente se comunica entre sí para coordinar sus acciones mediante un protocolo de comunicación propio. En el datasheet dado por el fabricante se encuentran sus capacidades en cuanto a sensores y actuadores.

Para punto 1, se muestran la tabla 1 y 2, así mismo se justifica el entorno.

Tabla 1. Características de etapas

<b>Percepciones</b>	<b>Meta</b>	<b>Acciones</b>	<b>Entorno</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura de agua.</li> <li>• Profundidad de agua.</li> <li>• Códigos del protocolo de comunicación.</li> <li>• Detector de colisiones.</li> <li>• Posición de cada compañero.</li> <li>• Nivel de energía.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Purificar agua.</li> <li>• Alcanzar diferentes Puntos en un área.</li> <li>• Coordinar formación con el resto de las medusas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Avanzar.</li> <li>• Girar.</li> <li>• Evadir.</li> <li>• Coordinar posición con otro agente</li> <li>• Informar posible colisión.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entorno acuático natural</li> </ul>

Tabla 2. Propiedades del ambiente

Ambiente	Accesible	Determinista	Episódico	Estático	Discreto
Aguas en un entorno natural	SI	NO	SI	NO	NO

**Accesible:** El entorno es accesible porque la información sobre obstáculos, comunicaciones, temperatura y profundidad marina etc del entorno son accesibles por los sensores.

**No determinista:** No es determinista porque al estar inmerso en un ambiente natural. No puede saberse las consecuencias de las acciones de antemano. Por ejemplo: Puede que el tamaño de obstáculos y su velocidad de reacción sea diferente, lo que produzca diferentes resultados (Choque y retroceso o avance lentos o rápido para esquivar).

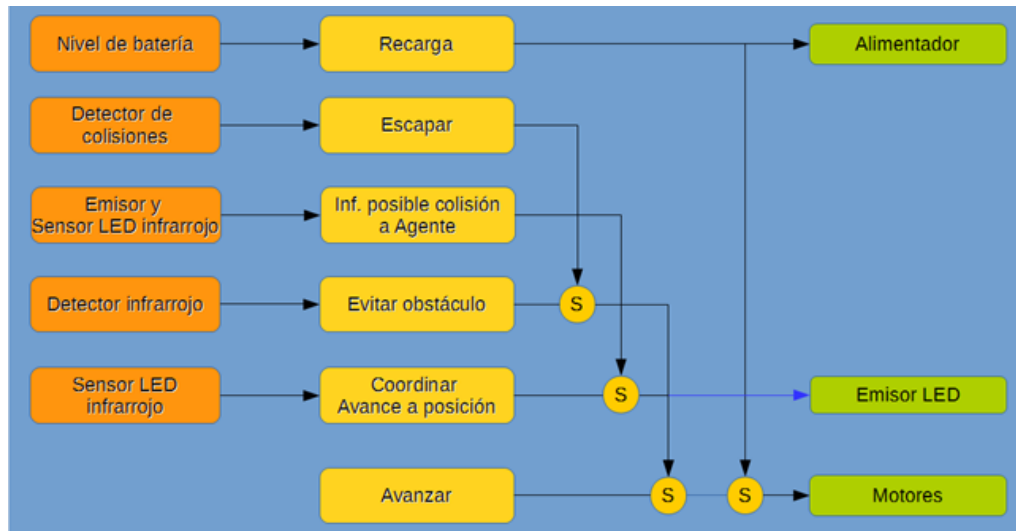
**Episódico:** Es episódico ya que el ambiente es un ambiente natural donde se procesa datos en tiempo real de forma continua y el estado presente es influido por el estado pasado.

**Dinámico:** El ambiente es dinámico porque es un entorno natural (No virtual) donde los eventos del entorno siguen ocurriendo mientras se realiza el procesamiento en tiempo real de los datos.

**Continuo:** Es un ambiente continuo porque las mediciones de las características y eventos del ambiente. sensores se representan con valores en un rango continuo para mesurar.

2) Para desarrollar el sistema multiagente, se selecciona una arquitectura reactiva (arquitectura jerarquía subsunción), ya que el caso no presenta objetivos muy complejos para realizar procesamiento simbólico. El agente necesita procesar los valores de los sensores y realizar las acciones correspondientes rápidamente. Se acotará el alcance del diseño de arquitectura a las capas necesarias para el avance del agente, coordinación con el resto del equipo, evitar obstáculos y recargar energía. Quedando excluidos datos de temperatura, profundidad y abstrayendo los servomotores y motor en un mismo actuador llamado motor.

Figura 75. Arquitectura reactiva de sistema multiagente



Nota: En este enfoque, los comportamientos más específicos y reactivos están en capas inferiores, mientras que los comportamientos de supervisión y coordinación se encuentran en capas superiores. Los comportamientos más específicos pueden suprimir o modificar los comportamientos de niveles superiores, lo que permite una respuesta rápida y efectiva a los estímulos del entorno. Esta estructura jerárquica facilita la toma de decisiones y el control en sistemas complejos, como el control de motores dentro de una piscina.

En este caso se debe identificar los agentes inteligentes (cantidad) responsables del encendido de los motores y otros actuadores. Se asignará roles específicos a cada agente, como agente de supervisión, agente de control de velocidad, agente de control de dirección, etc. Se realizarán pruebas exhaustivas para verificar el funcionamiento correcto del sistema en una variedad de escenarios, incluyendo diferentes condiciones de la piscina y eventos imprevistos.

Los agentes inteligentes serán capaces de tomar decisiones más complejas de manera autónoma, lo que les permitirá realizar tareas más sofisticadas sin intervención humana constante. Habrá avances en la capacidad de los agentes para interactuar entre sí y con humanos de manera más natural y efectiva, gracias a mejoras en el procesamiento del lenguaje natural y la comprensión de contextos.

El futuro de los sistemas de agentes inteligentes que colaboran, cooperan y negocian se presenta emocionante y prometedor. Se vislumbra lleno de avances emocionantes que mejorarán la capacidad de estos sistemas para colaborar, cooperar y negociar en una variedad de entornos y situaciones.

## **REFLEXIÓN FINAL**

Si bien la AI se está desarrollando para innovar y ser más eficiente esto implicará costos elevados. El entrenamiento de algoritmos de AI a gran escala resulta costoso tanto en términos de recursos financieros como de poder de procesamiento. A mediano plazo fabricantes y desarrolladores de la inteligencia artificial general (GAI, General Artificial Intelligence) creen que podrá comprender, aprender, razonar y actuar en una amplia variedad de dominios, de manera similar a como lo hacen los seres humanos. Inclusive de sobrepasar nuestra inteligencia. Esto significa que sería capaz de realizar una variedad de tareas cognitivas complejas y prácticas de una manera flexible y adaptable.

Este escenario se conoce comúnmente como la "singularidad tecnológica", un punto hipotético en el futuro en el que la AI alcanzaría un nivel de inteligencia y capacidades superiores a las humanas y se desarrollaría de manera exponencial más allá de nuestra comprensión. La posibilidad de crear una GAI plantea numerosas oportunidades y desafíos. Por un lado, podría ofrecer soluciones innovadoras a problemas complejos en áreas como la medicina, la ciencia, la ingeniería y más allá. Por otro lado, también plantea preocupaciones sobre el control, la seguridad y el impacto socioeconómico de una tecnología tan poderosa.

Es importante que los investigadores, empresas y líderes en el campo de la AI consideren cuidadosamente los aspectos éticos y sociales de desarrollar una GAI. Esto incluye garantizar la seguridad y la transparencia en el desarrollo de la tecnología, así como abordar las preocupaciones sobre la igualdad, la privacidad y el impacto en el empleo.

**REFERENCIAS**

- Abdatum. (2021). *Redes neuronales recurrentes*. Obtenido de <https://abdatum.com/tecnologia/redes-neuronales-recurrentes>
- Algotive. (2022). *Todo lo que necesitas saber sobre Deep Learning: La tecnología que imita al cerebro humano*. Obtenido de <https://n9.cl/va5zlr>
- Añez, J. (2024). *¿Qué es una Tienda de Conveniencia?* Obtenido de Web y Empresas: <https://www.webyempresas.com/tienda-de-conveniencia/>
- BitFab. (2021). *Escaneo 3D con luz estructurada*. Obtenido de <https://bitfab.io/blog/3d-structured-light-scanning/>
- Boesch, G. (2023). *Visión por computadora en la aviación , construido sobre Viso Suite*. Obtenido de Viso AI: <https://viso.ai/deep-learning/yolov7-guide/>
- Carranza, A. (2020). *Programas de modelado 3D: crea todo lo que te puedas imaginar*. Obtenido de <https://n9.cl/n7ebw>
- CGTrader. (2022). *Modelado Orgánico*. Obtenido de <https://www.cgtrader.com/free-3d-print-models/art/other/organic-meshball>
- Coloma, J. (2020). *Inteligencia artificial, sistemas inteligentes, agentes inteligentes*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7591558>
- Comunidad Académica. (2023). *Tecnologías 6G-IoT*. Obtenido de <https://encyclopedia.pub/entry/47659>
- CSIRO. (2021). *DARPA Challenge*. Obtenido de <https://n9.cl/oimnm>
- Dai Nippon Printing Co. (2022). *RFID abre el futuro de IoT*. Obtenido de [https://www.dnp.co.jp/biz/solution/products/detail/1191142\\_1567.html](https://www.dnp.co.jp/biz/solution/products/detail/1191142_1567.html)
- de Francisco, A. (2024). *ARTIFICIAL: La Nueva Inteligencia y su Aplicación en Nefrología*. ISSN: 2659-2606. Madrid: Nefrología al día. Obtenido de ISSN: 2659-2606.: <https://www.nefrologiaaldia.org/609>



- Domestika. (2019). *¿Qué es un render en 3D?* Obtenido de <https://www.domestika.org/es/blog/2467-que-es-un-render-en-3d>
- ElectroDaddy. (2020). *Tecnología RFID*. Obtenido de <https://www.electrodaddy.com/tecnologia-rfid/>
- EMESENT. (2021). *Emesent-CSIRO Data61- Georgia Tech Team Runner-up in DARPA's SubT Challenge*. Obtenido de LIDAR Magazine: <https://n9.cl/uqv4z>
- FARO. (2022). *FARO ScamArms*. Obtenido de <https://www.faroandina.com/soluciones/faro-scanarm.html>
- FESTO. (2015). *AquaJellies 2.0*. Obtenido de [https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/293541/Festo\\_AquaJellies\\_2-0\\_en.pdf](https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/293541/Festo_AquaJellies_2-0_en.pdf)
- FQ Ingeniería. (2021). *Equipos RFID*. Obtenido de <https://n9.cl/tik8o>
- Freepik. (2022). *Diferentes objetos poligonales 3D*. Obtenido de <https://n9.cl/5d3g3>
- Ganne, E. (2018). *¿Pueden las cadenas de bloques revolucionar el comercio internacional?* Ginebra: OMC. Obtenido de [https://www.wto.org/spanish/res\\_s/booksp\\_s/blockchainrev18\\_s.pdf](https://www.wto.org/spanish/res_s/booksp_s/blockchainrev18_s.pdf)
- Golubeva, S. (2022). *¿Qué es el escaneo 3D láser?* Obtenido de <https://www.artec3d.com/es/learning-center/laser-3d-scanning>
- Grahovac, M. (2024). *M2M Communication Revolution with Meshmerize*. Obtenido de Meshmerize: <https://n9.cl/qqesh>
- Grahovac, M., & Gabriel, F. (2022). *5G FOLA: Meshmerize supports 5G to create a stable connection*. Obtenido de Meshmerize: <https://n9.cl/os6pu>
- Gupta, M., & Mahmoud, A. (2020). *Security and Privacy in Smart Farming: Challenges and Opportunities*. Obtenido de IEEE Access.: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9003290>
- Hasan, B., & Idree, A. (2024). *Edge Computing for IoT*. Obtenido de <https://arxiv.org/pdf/2402.13056v1.pdf#Cho.S2>
- Howard. (2024). *Una inmersión en los avances de la IA perimetral*. Obtenido de FS: <https://community.fs.com/es/article/a-dive-into-edge-ai-advancements.html>

- Huang, X., Xiqiang, W., Zhang, X., & Usmani, A. (2022). *Smart Tunnel Fire Safety Management by Sensor Network and Artificial Intelligence*. Obtenido de <https://n9.cl/ror7x>
- Huffman, E. (2024). *4 tipos de blockchain explicados: una guía completa para 2024*. Obtenido de Techopedia: <https://n9.cl/2z123>
- ICEEM. (2022). *Simulación CFD y Análisis térmico*. Obtenido de <https://www.icemm.com/analisis-cfd-fluidos/>
- IndiaMART. (2020). *RFID Technology*. Obtenido de <https://m.indiamart.com/proddetail/rfid-technology-4925970688.html>
- IONOS. (2013). *Virtualización*. Obtenido de <https://www.ionos.es/digitalguide/servidores/configuracion/virtualizacion/>
- Jha, N. (2021). *El futuro de los pagos sin contacto o NFC*. Obtenido de <https://n9.cl/ltq3s>
- Jiao, J., Hardesty-Lewis, R., & Seong, K. (2023). *Fire and Smoke Digital Twin -- A computational framework for modeling fire incident outcomes*. Obtenido de <https://n9.cl/f9fokn>
- Jurado, V. (2021). *¿Qué es blockchain y qué ventajas puede aportar a las empresas?* Obtenido de <https://n9.cl/o5otk>
- Kuka, C. S., Chandler, J., & Alkahtani, M. (2021). *Chaotic-based Security for Near Field Communication in Internet of Things Devices*. Obtenido de <https://n9.cl/mdzn8>
- Kulkarni, P. (2022). *A Brief History of Internet of Things (IoT)*. Obtenido de Bytebeam: <https://bytebeam.io/blog/a-brief-history-of-internet-of-things/>
- Kumar, B. (2021). *Mobile Robot Localization*. Obtenido de Decibels Labs: <https://www.linkedin.com/pulse/mobile-robot-localization-decibelslab/>
- Leoni, P., Rizzi, A., Antonelli, D., & Zenti, A. (2020). *The role of RFID technology in IoT applications: Opportunities and challenges*. In *Internet of Things. A Comprehensive Guide to Current and Future Trends* (pp. 277-297). Springer.
- LISA Institute. (2022). *Qué es el blockchain: definición, tipos, ejemplos, ventajas y utilidades*. Obtenido de <https://n9.cl/du2er>

- McMillion, M. (2022). *¿Cómo funciona el escaneo 3D con luz estructurada?* Obtenido de <https://n9.cl/r5iek5>
- MirrAR. (2023). *Reality Remix: comprensión de las diferencias entre realidad virtual, realidad aumentada.* Obtenido de <https://n9.cl/3zoby>
- Montes, C. (2019). *Mars 2020, la misión que preparará la llegada del hombre a Marte.* Obtenido de: <https://n9.cl/m47vaq>
- Mordor Intelligence. (2024). *Análisis de participación y tamaño del mercado de sensores de IoT: tendencias y pronósticos de crecimiento (2024-2029)* . Obtenido de <https://n9.cl/7qhxu>
- Muelaner, J. (2021). *Opciones de protocolo de la capa de aplicación para la funcionalidad M2M e IoT.* Obtenido de Digikey: <https://n9.cl/u76bbm>
- NASA/JPL-Caltech. (2023). *La NASA publica el informe de retorno de muestras de Marte de Independent Review.* Obtenido de <https://n9.cl/e4whu>
- Pandya, J. (2023). *Una guía detallada de las realidades: AR versus MR versus VR versus XR y las principales aplicaciones.* Obtenido de ExpertAppsDevs: <https://www.expertappdevs.com/blog/vr-vs-ar-vs-mr-vs-xr>
- Pérez, J. R. (2024). *IoT por satélite.* Obtenido de Ciencia Carbónica: <https://cienciacarbonica.es/iot-por-satelite/>
- Prescient Technologies. (2019). *Tipos y beneficios de los escáneres 3D y las tecnologías de escaneo 3D.* Obtenido de <https://n9.cl/mrd5z>
- Rosas, R. (2020). *La transformación digital en las empresas.* Obtenido de <https://rosanarosas.com/transformacion-digital-empresas/>
- Ruelas, U. (2018). *¿Qué es un chatbot?* Obtenido de <https://n9.cl/iuau9d>
- ML. (2024). *Generación de Imagen a través de texto.*
- Sanz, J. (2024). *Oppo Air Glass 3: así son las nuevas gafas de realidad aumentada alimentadas por IA.* Obtenido de TecnoXplora: <https://n9.cl/e9cd3>
- Save4print. (2022). *Metadatos, ¿Qué son?* Obtenido de <https://www.save4print.es/metadatos-que-son/>

- Scient Direct. (2021). *Detección De Caídas En Adultos Mayores Con Dispositivos Móviles IoT Y Aprendizaje Automático En La Nube Y En El Borde*. Obtenido de [https://goodcexet.life/product\\_details/4900827.html](https://goodcexet.life/product_details/4900827.html)
- SICNOVA. (2021). *Ingeniería inversa*. Obtenido de <https://sicnova3d.com/sectores/aplicaciones/ingenieria-inversa/>
- Statista. (2023). *Machine to machine connections from 2018 to 2023(in billions)*. Obtenido de <https://n9.cl/4tohy>
- TechVidvan. (2022). *IoT vs M2M – Difference Between IoT and M2M*. Obtenido de <https://techvidvan.com/tutorials/iot-vs-m2m/>
- Theorem XR. (2023). *Realidad extendida - XR*. Obtenido de <https://www.theorem.com/extended-reality>
- Torrendell, H. (2024). *Computación espacial: una guía completa*. Obtenido de Treeview: <https://treeview.studio/blog/spatial-computing-complete-guide/>
- Triana, J. (2021). *Implementación del subsistema de virtualización inalámbrica de recursos de procesamiento para una red Ad-Hoc*. Obtenido de <https://n9.cl/zx2h24>
- TU News MAGAZINE. (2019). *Conectividad transparente entre los sistemas de satélites geoestacionarios y no geoestacionarios*. Obtenido de pag.48: <https://n9.cl/84j4b>
- UIT Rec. Y.4601. (2021). *Requisitos y marco de capacidades de un gemelo digital para la lucha inteligente contra los incendios*. Obtenido de ITU Publications: <https://handle.itu.int/11.1002/1000/15077-es?locatt=format:pdf&auth>
- Ultralíticos. (2023). *Modelos*. Obtenido de Licencias Ultralytics : <https://github.com/ultralytics/ultralytics>
- Vedan, A. (2020). *Smart Trac Pro: el siguiente estándar en análisis de vibraciones y monitoreo online*. Obtenido de <https://n9.cl/jfxld3>
- Wang, Y., Xiao, Z., & Cao, G. (2022). *Un método de red neuronal convolucional basado en el optimizador Adam con tasa de aprendizaje exponencial de potencia para el diagnóstico de fallas de rodamientos*. Obtenido de <https://www.extrica.com/article/22271>

Zawish, M., & et al. (2023). *AI and 6G Into the Metaverse: Fundamentals, Challenges and Future Research Trends*. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=10415393>



**Luis Orlando Philco Asqui**

Doctor en Ciencias Informáticas por la Universidad Nacional de la Plata, Argentina.

Especialidad en conectividad y aplicaciones del Internet de las Cosas (IoT).  
Gestión de Proyectos Tecnológicos, Automatización Industrial.

Magister en Telecomunicaciones y en Educación Superior por la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil (UCSG).

Experiencia en docencia e investigación en la UCSG. Ponente en congresos internacionales. Investigador Senescyt: REG INV-23-06414.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5312-3563>



**Maura Mariela Benítez Almirón**

Magister en Educación Superior de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

Licenciada en Ciencias Sociales de la Universidad Tecnológica Intercontinental sede ciudad del Este, Paraguay.

Docente en varias instituciones educativas en el departamento de Alto Paraná.

Experiencia en asesoría de proyectos y trabajos académicos en Ecuador.

Revisora de redacción de artículos y textos académicos

ISBN: 978-9942-33-854-9

