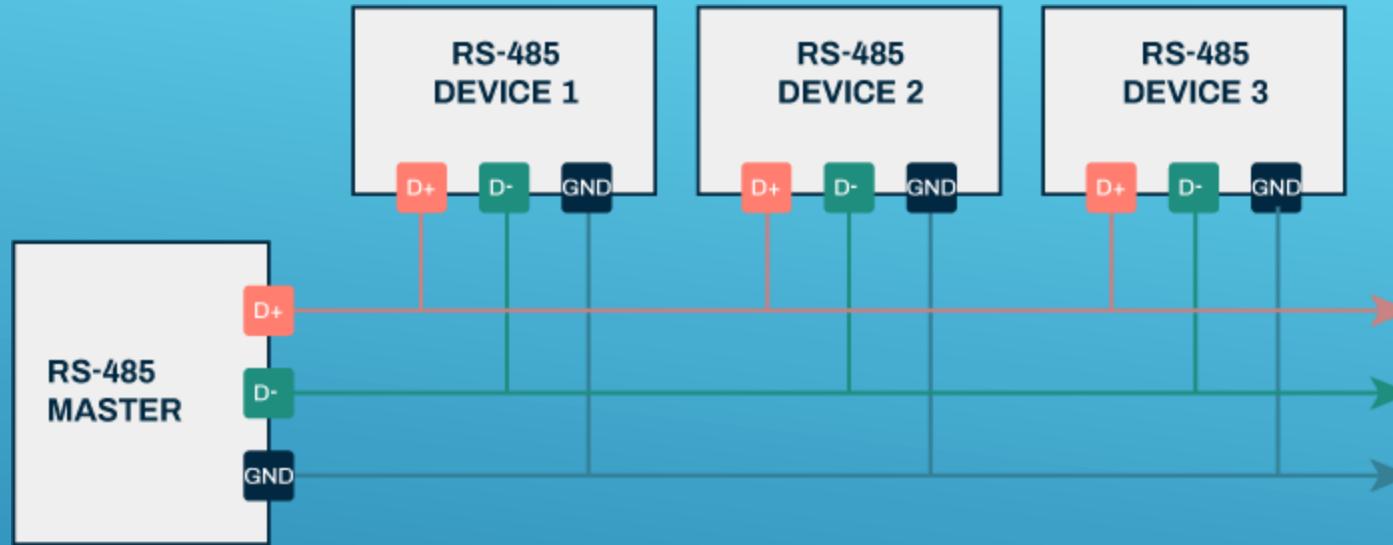


# La evolución de la tecnología Ethernet Industrial

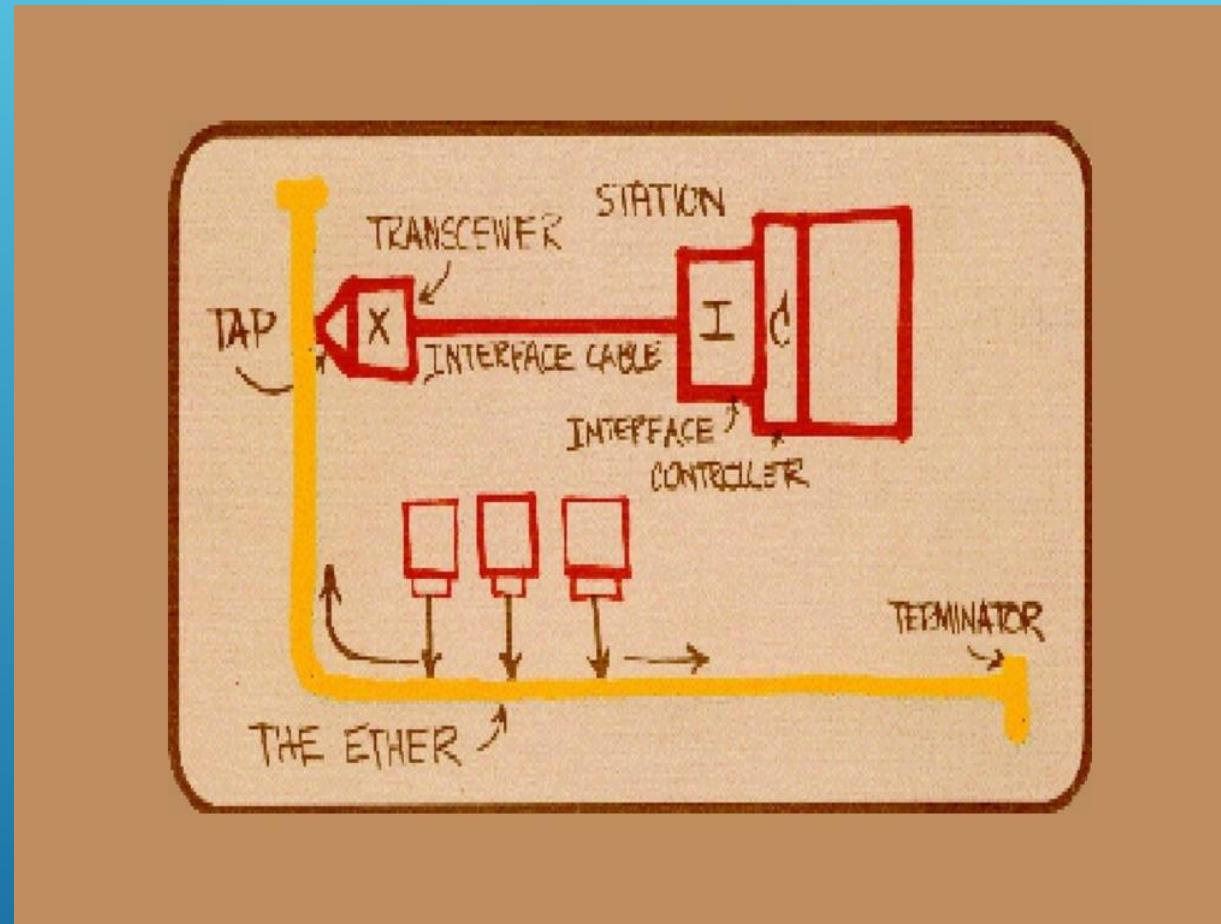


# Las primeras redes industriales eran seriales

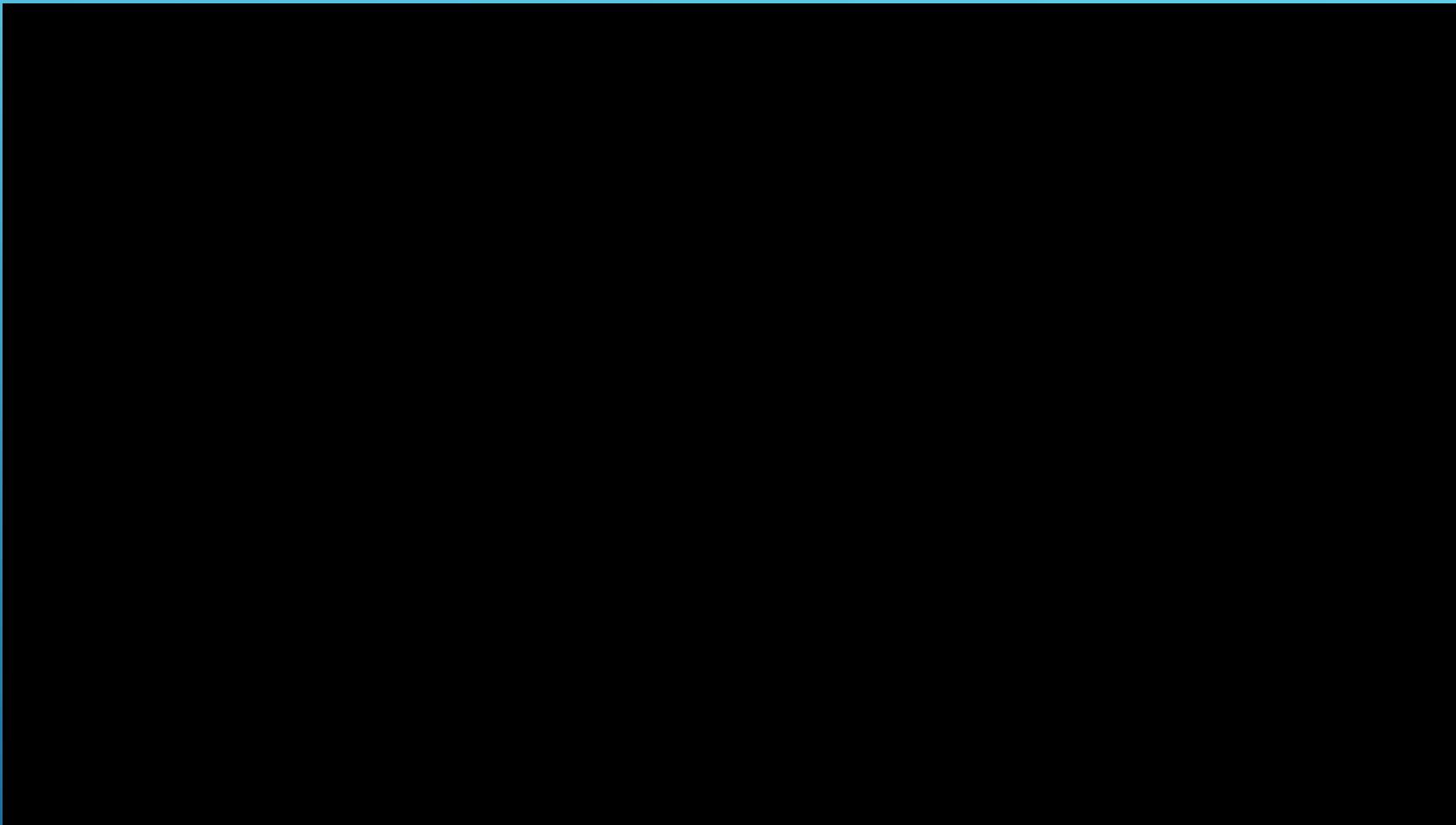


- Determinísticas, el tiempo de ciclo está fijado por el maestro
- Garantizan un tiempo de respuesta preciso y predecible (determinístico)
- Resistentes a los ambientes industriales (ambientales y EMC)
- Cableado simple y robusto
- Ancho de banda? Hasta 10/12 Mbps en RS-485 (tramos de 15 m)
- Profibus DP, Modbus RTU, DNP3, CC-Link, DH-485, DF1

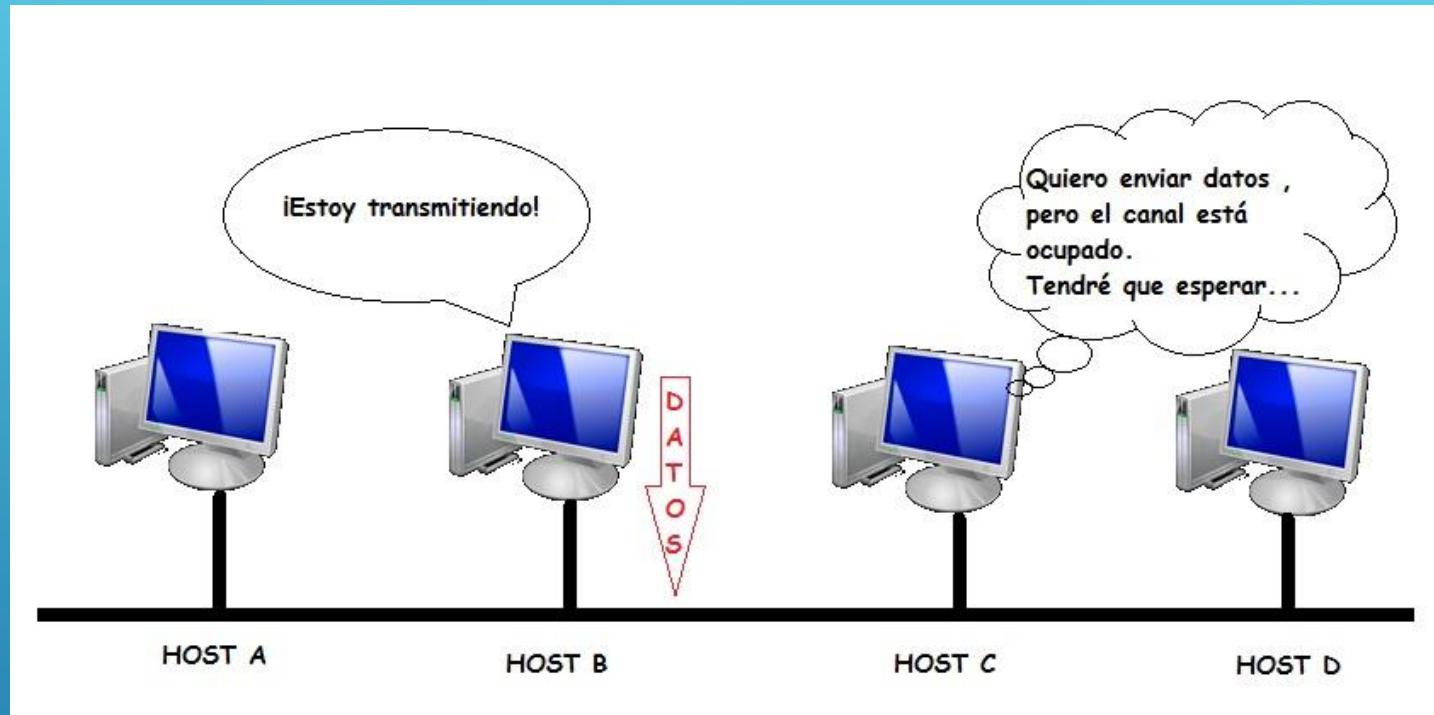
Sin embargo en 1973, Bob Metcalf tuvo una idea en un cafe



Y parece que a todo el mundo le encantó



# Excepto a los que querían usar Ethernet en tiempo real



- Tiempo de respuesta aleatorio (CSMA/CD o Carrier Sense Media Access/Collision Detection)
- Se prioriza la recepción completa de la información al tiempo empleado en enviarla
- Incompatible con los ambientes industriales (100 m máximo en cobre)
- Cableado complejo y poco robusto cable coaxil y conectores BNC inicialmente

# La tecnología Ethernet mejoró exponencialmente

Today

2026

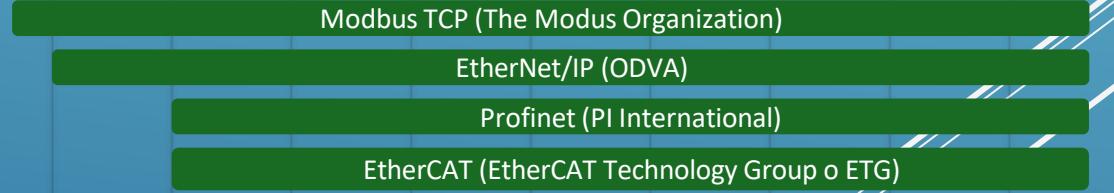
1973 1976 1979 1982 1985 1988 1991 1994 1997 2000 2003 2006 2009 2012 2015 2018 2021 2024

XeroxPARC presenta la primera red con tecnología Ethernet. Aun en uso

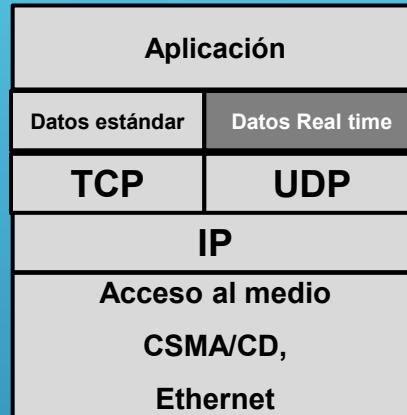
Ethernet

- ▶ IEEE 802.3. Primeros equipos disponibles
- ▶ Primeros switches Ethernet
- ▶ IEEE 802.3i 10 Mbps par trenzado utp
- ▶ IEEE 802.3u 100 Mbps utp 4 hilos (Fast Ethernet)
- ▶ IEEE 802.3ab 1Gbps utp 8 hilos (Gigabit Ethernet)
- ▶ IEEE 802.3af (PoE)
- ▶ IEEE 802.3ae 10 Gigabit Ethernet
- ▶ IEEE 802.3an 10 Gigabit Ethernet utp 8 hilos
- ▶ IEEE 802.3ba 100/25/40 Gbps Ethernet (Conectores SFP)
- ▶ IEEE 802.3bs 400/ 200 Gbps Ethernet
- ▶ IEEE 802.3df 800 Gbps Ethernet (en desarrollo)

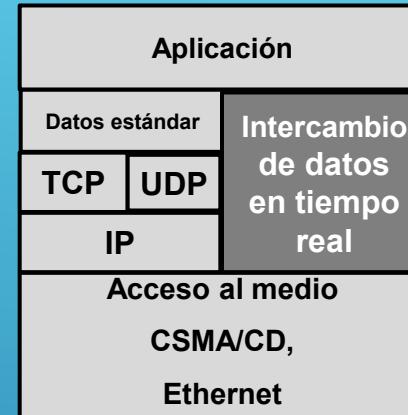
Ethernet Industrial



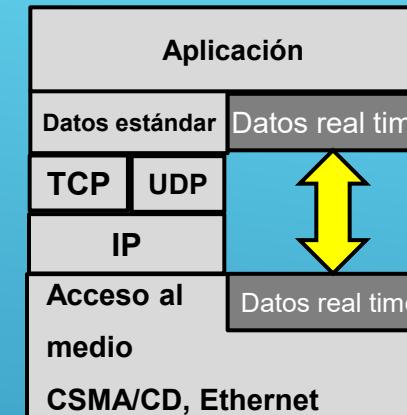
# Ethernet Industrial: las soluciones usadas en los protocolos RT



TCP/IP estándar:  
EtherNet/IP, ModbusTCP,  
Profinet CBA



Evitando las capas 3 y 4:  
Powerlink, Profinet RT



Modificando las capas 1 y  
2: EtherCAT, Profinet IRT

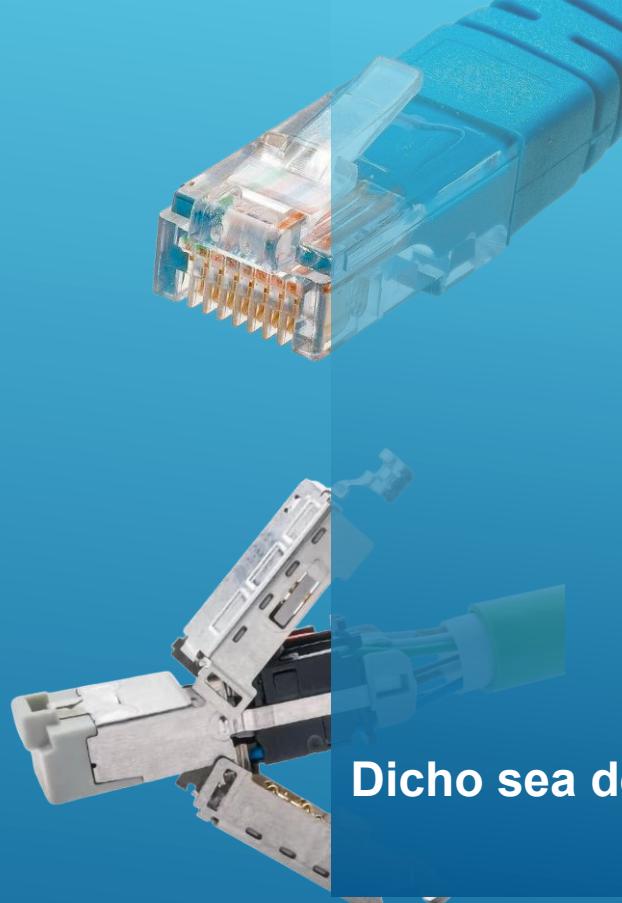
- Tiempo de respuesta dentro de un valor de tiempo definido
- Soft Real Time o best effort: Profinet RT y EtherNet/IP
- Hard Real Time o realmente determinístico con hardware especial: Profinet IRT y EtherCAT
- Uso de diferentes mecanismos RT = escasa interoperabilidad en RT
- Comportamiento determinístico propietario

Estas soluciones generalmente fueron bien recibidas

Pero los usuarios de redes Ethernet Industrial querían algunas mejoras...



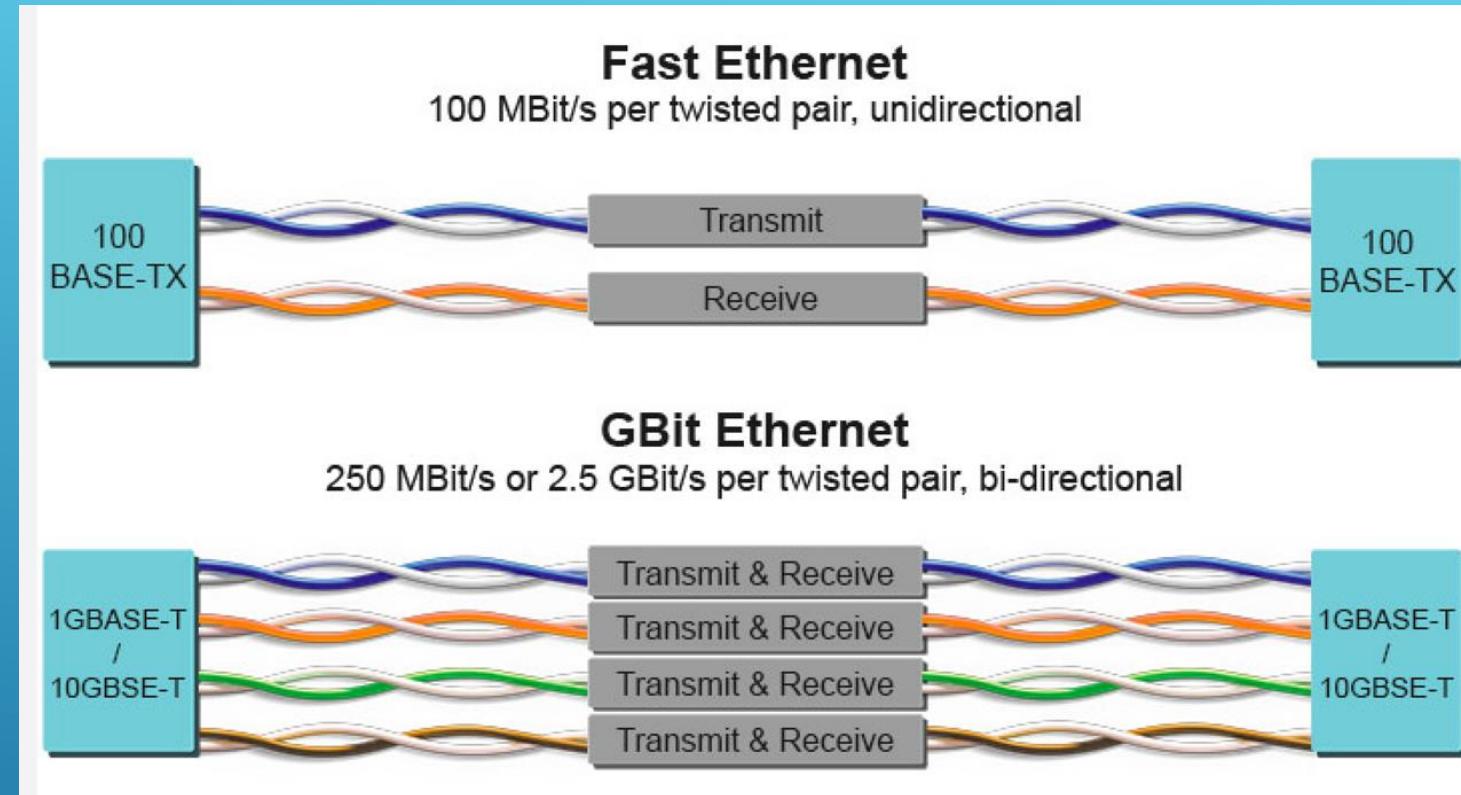
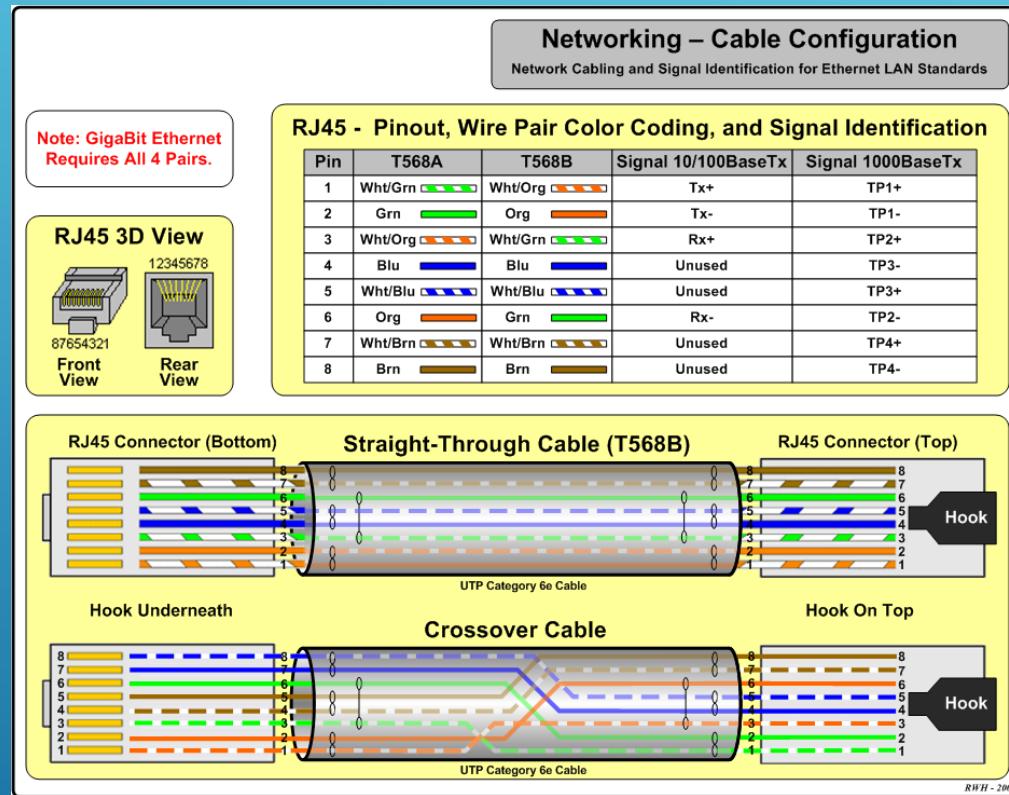
# Como conectores adecuados para uso industrial...



Dicho sea de paso, esta es una buena idea, pero no es una solución!!!

- Conectores frágiles y/o complejos
- Conectores industriales no estandarizados

...o una capa física mas adecuada para ambientes industriales...



- 2 pares de hilos para Fast Ethernet
- 4 pares de hilos para Gigabit Ethernet

...y, si no es mucho pedir, determinismo y funcionamiento en tiempo real...



Ethernet/IP, Hart-IP, OPC UA, PROFINET, http, ...

TCP

IP

Ethernet

Gigabit

WIFI

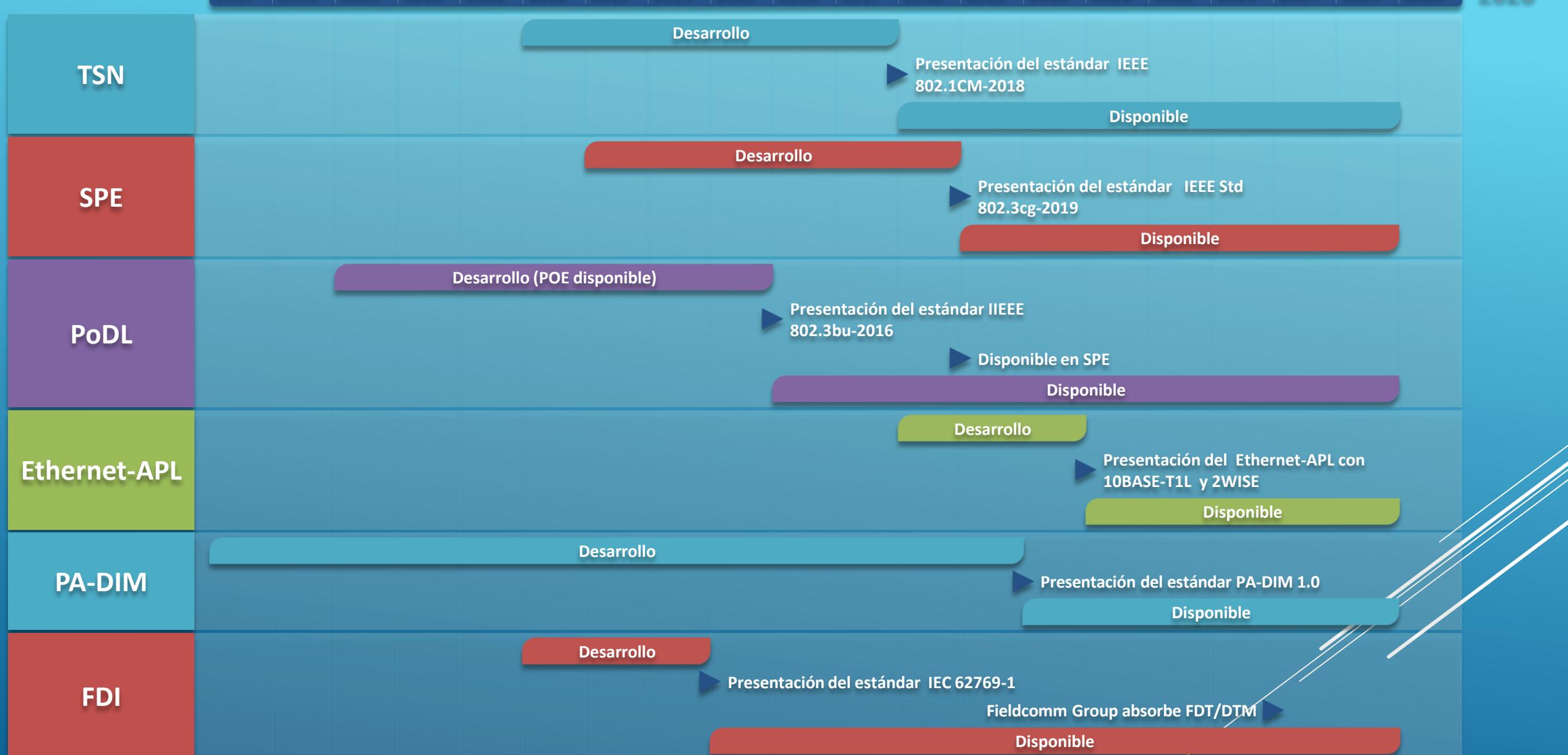
...

SPE  
10Base-T1L

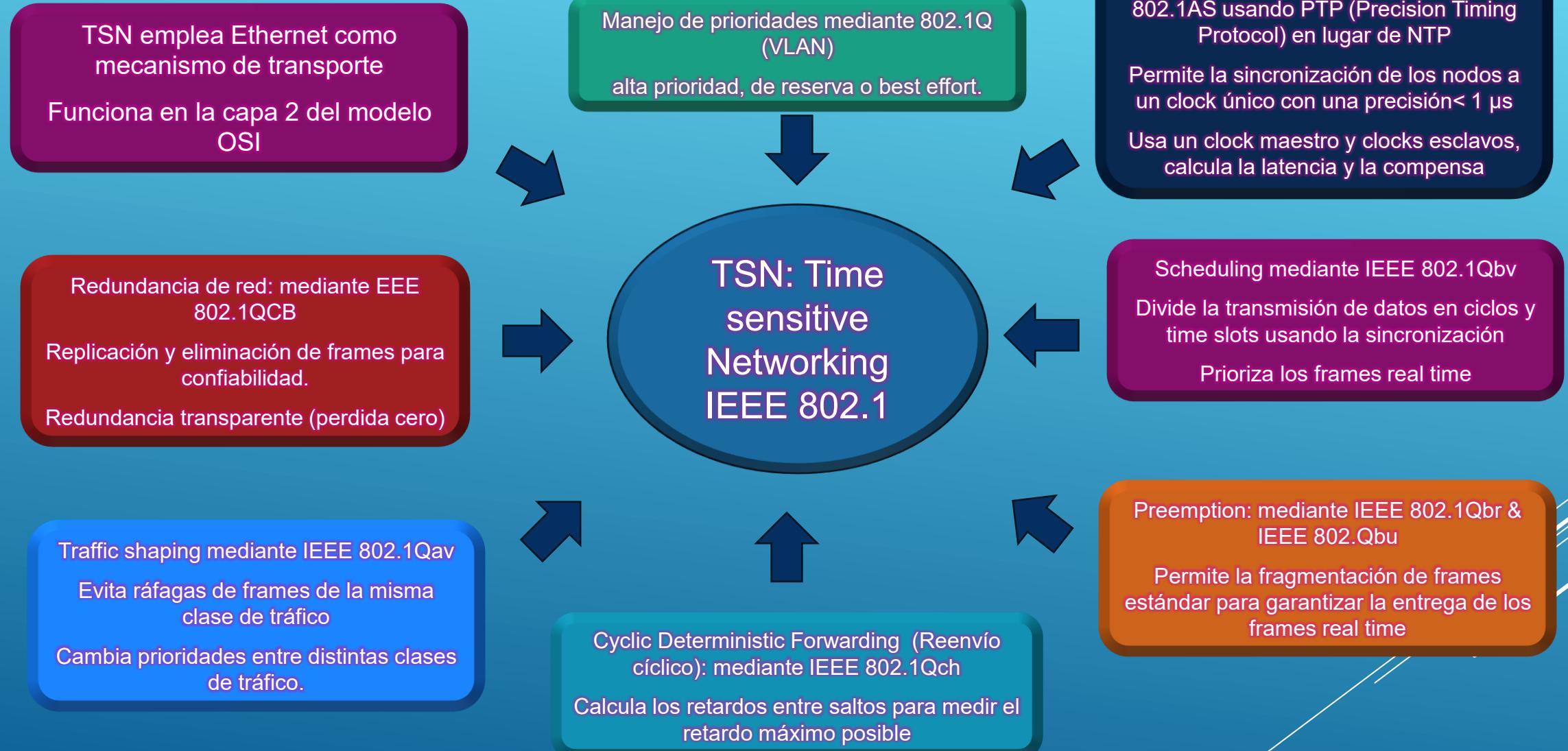
APL  
10Base-T1L



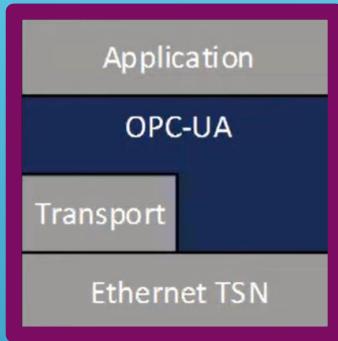
Una nueva Ethernet  
Industrial mejorada



# TSN: Un standard para hacer Ethernet RT y determinística



# TSN: Un standard para hacer Ethernet RT y determinística



Todos estos estándares se combinan para crear un set de herramientas potente y flexible

No todas las aplicaciones necesitan las mismas extensiones.

Se están desarrollando perfiles de aplicación con el set necesario de extensiones. Ej. aviación, audio y video, automóviles, proceso, finanzas, etc

Esta combinación podría reemplazar los protocolos RT Ethernet en el mediano plazo

TSN: Time sensitive Networking IEEE 802.1

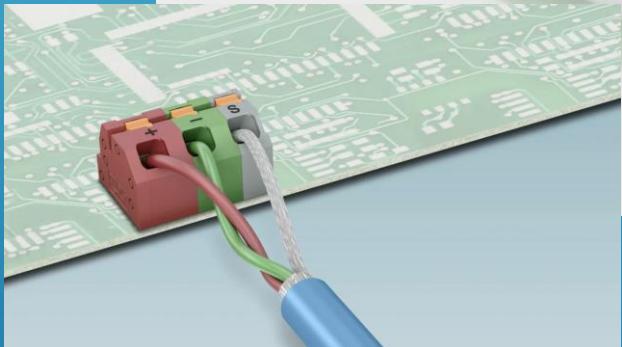
Los protocolos real time existentes ya han informado como integrarán TSN y como será la actualización

Esta combinación entre TSN y OPC-UA aún está en desarrollo

OPC-UA define el mecanismo de transporte y el modelado de datos. Puede funcionar como Client Server 1.1 o como Publisher/Subscriber 1.N

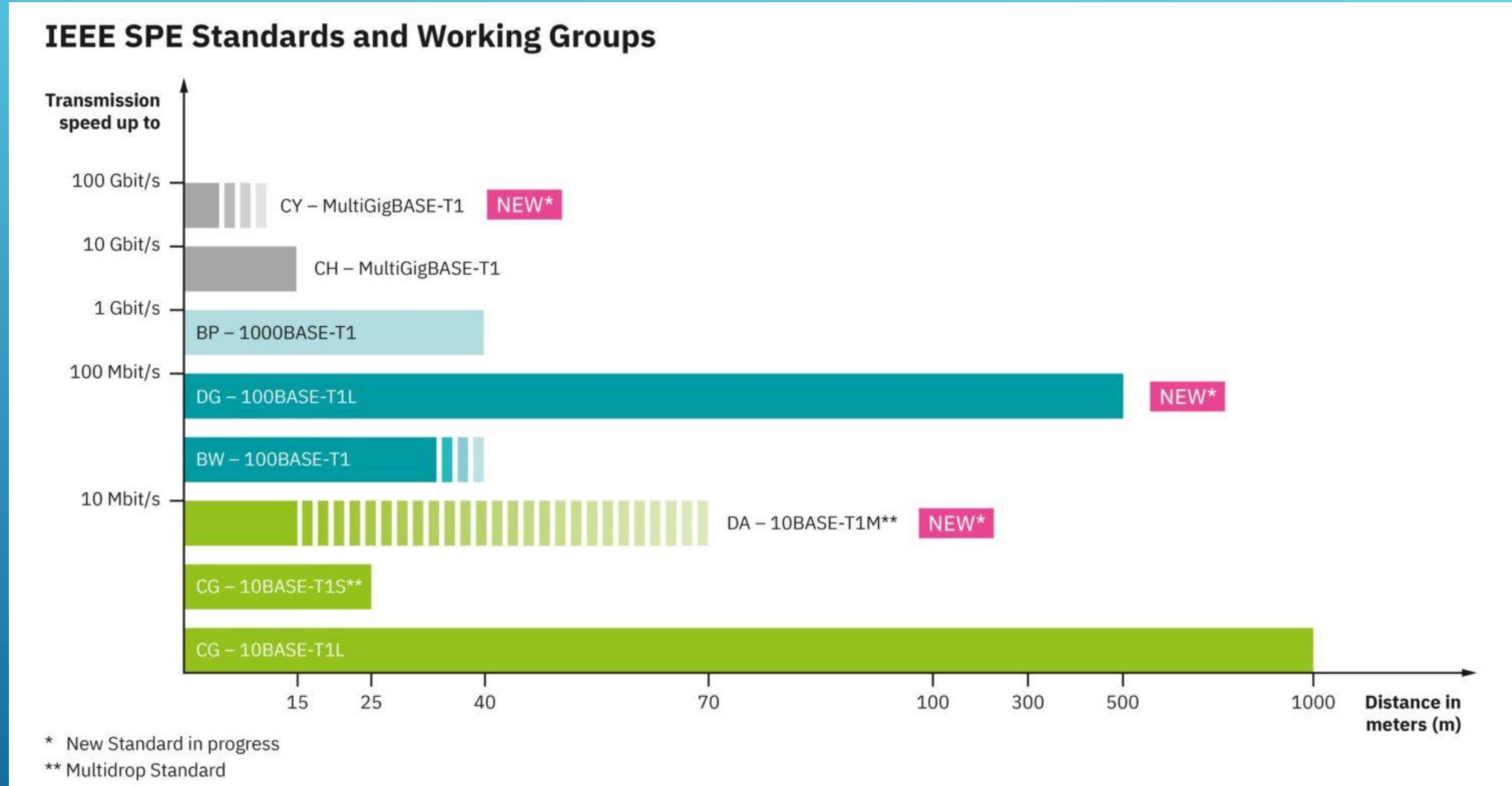
Existen planes para implementar TSN en OPC-UA

## Una nueva capa física: Single Pair Ethernet o Ethernet por 2 hilos



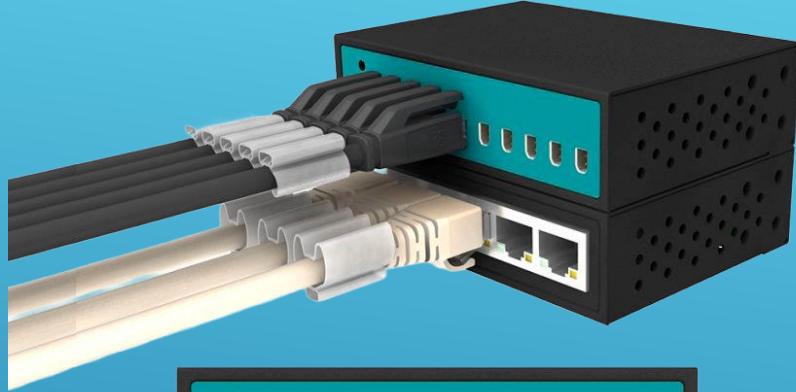
- PHY y chipsets dedicados
- Conectores especializados (por ejemplo, IP20, en borneras terminales, conectores M8/M12 para entornos industriales)
- Componentes pasivos para protección EMC y aislamiento galvánico
- Cableado a medida para aplicaciones fijas, flexibles o ambientes demandantes

## Una familia de soluciones: Single Pair Ethernet o Ethernet por 2 hilos



Se están desarrollando perfiles SPE para distintos entornos industriales

# SPE: Single Pair Ethernet o Ethernet por 2 hilos

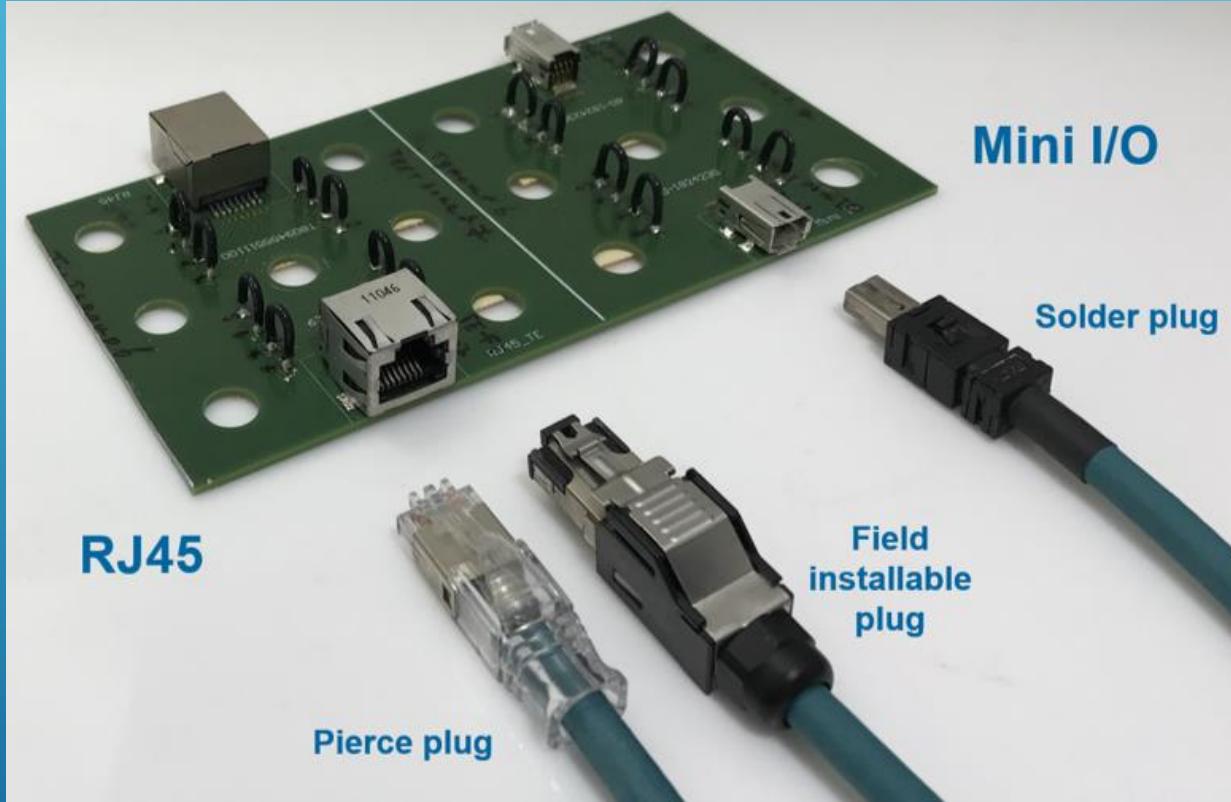


Los conectores ocupan un espacio 25% menor en área frontal



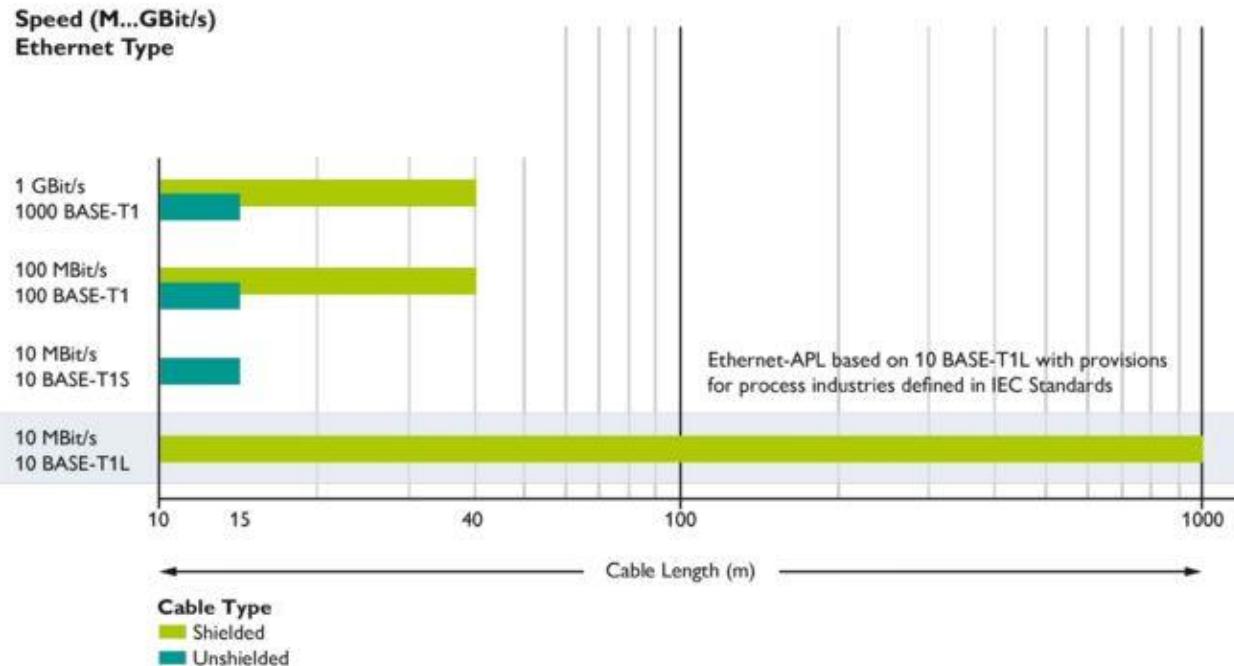
- Cableado mínimo: Un par trenzado en vez de 4/8.
- Alcance extendido: hasta 1,000 metros a 10 Mbps (10BASE-T1L).
- Alta velocidad: Hasta 1 Gbps en distancias cortas para control y diagnóstico en tiempo real.
- Ethernet para dispositivos de campo: No requiere gateways ni traducción de protocolos
- Conectores compactos: interfaces M8/M12 e IP20
- Basado en estándares: IEEE 802.3 es un estándar ampliamente aceptado
- Menor costo y peso: Reduce el uso de cobre, el esfuerzo de instalación y el espacio para gabinetes

# SPE: Single Pair Ethernet o Ethernet por 2 hilos



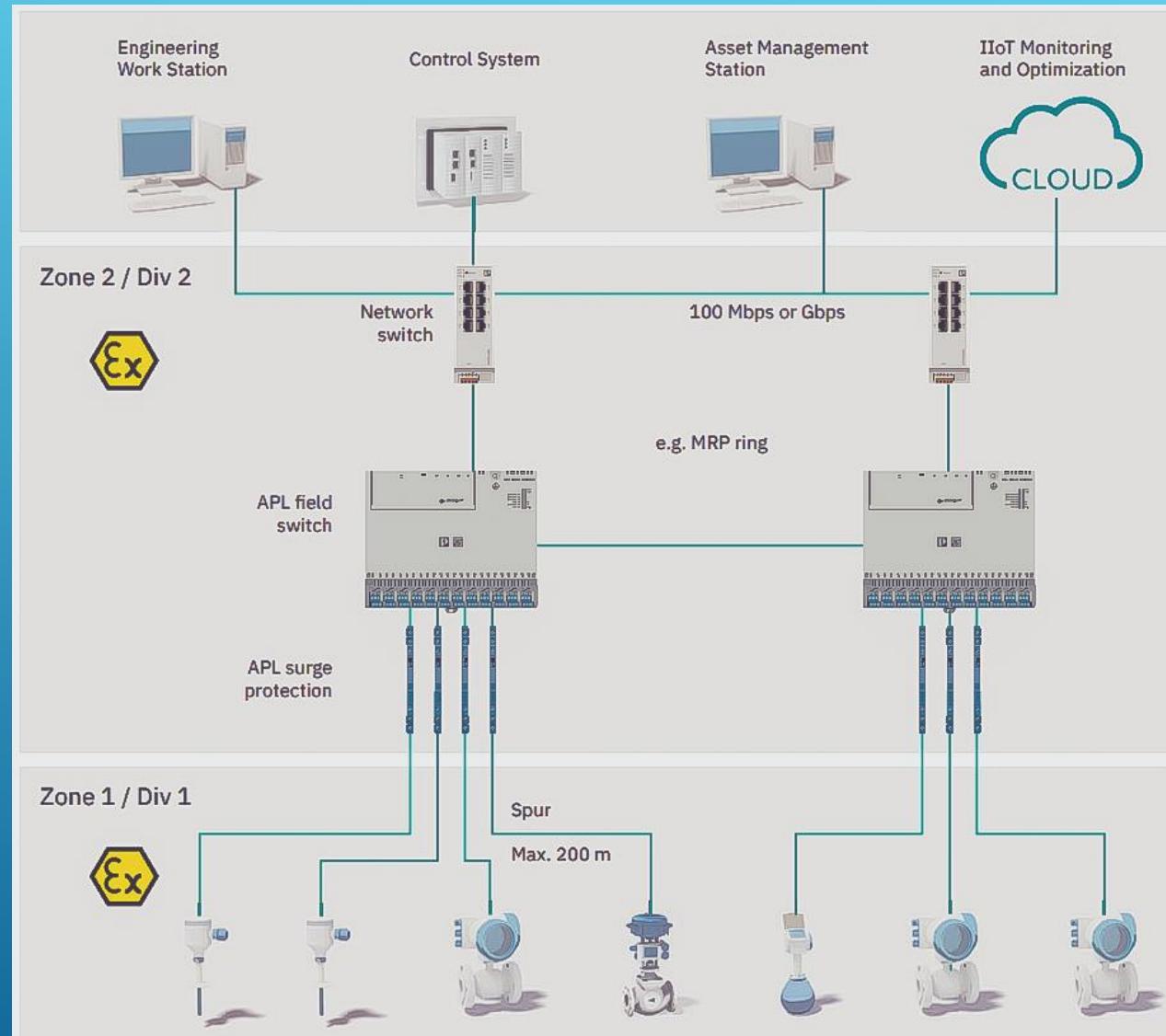
- Cableado reducido: Un par trenzado en lugar de cuatro.
- Alimentación + datos: Vía PoDL, simplificando las instalaciones.
- Topologías multipunto: Ideal para redes de sensores y control zonal.
- Compatibilidad con TSN: Con IEEE 802.3de, lo que permite Ethernet determinístico a través de SPE.
- Largo alcance: Hasta 1 km con 10BASE-T1L, en breve 500 m con 100BASE-T1L (802.3dg).

# Ethernet-APL: Ethernet en el campo usando cable tipo A

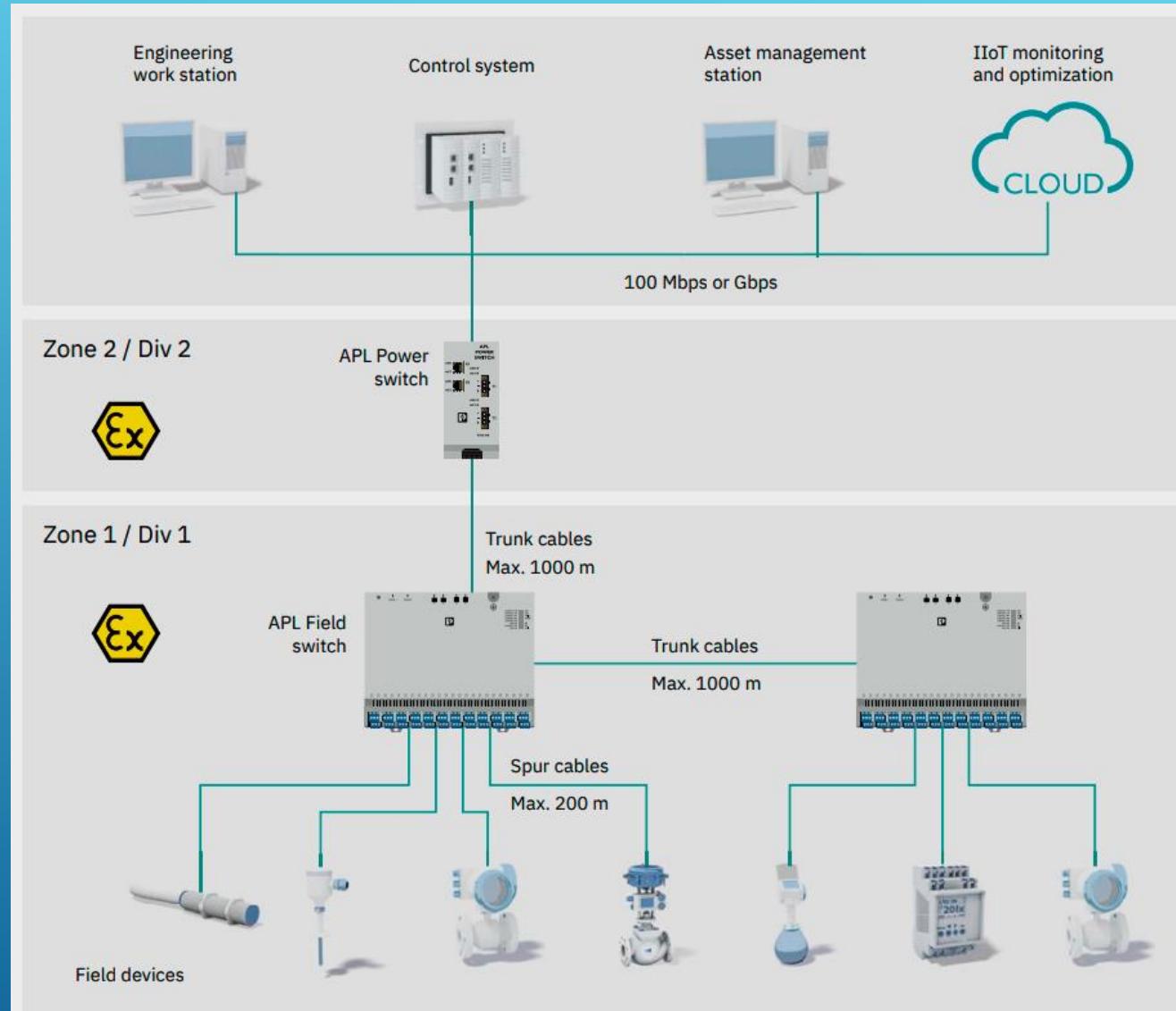


- Basado en SPE, utiliza 2 hilos para datos y alimentación.
- Hasta 1000 m en el troncal y 200 en los spurs.
- Topologías estrella y troncal con spurs
- Compatible con aplicaciones IIC mediante el concepto 2WISE IEC TS 60079-47, seguridad intrínseca sin verificación
- Interoperable, al ser una capa física se puede usar con cualquier protocolo Ethernet Industrial
- Compatible con equipos Profibus PA
- Los switches APL incorporan diagnóstico avanzado de la capa física

# Ethernet-APL: Topología estrella y anillo MRP Profinet



# Ethernet-APL: Topología trunk + spurs con field y power switches



# PA-DIM : Un modelo de información para dispositivos de campo

PA-DIM es un modelo de información abierto e independiente del proveedor que unifica la forma en que los dispositivos de campo exponen los datos a través de las redes industriales.

Basado en OPC UA y alineado con la semántica IEC 61987, permite:

- Interoperabilidad: estructuras de datos unificadas entre protocolos y/o entre proveedores
- Claridad semántica: Cada parámetro vinculado a definiciones estandarizadas (IRDI)
- Soporte de arquitecturas abiertas (NOA y MTP)
- Creación de gemelos digitales en industrias de procesos.
- Convergencia de TI/OT: Integración perfecta con sistemas MES, en la nube y de análisis
- Ingeniería simplificada: reduce el esfuerzo de mapeo e integración personalizados

# PA-DIM : Un modelo de información para dispositivos de campo

- En los buses de campo, cada protocolo emplea un modelo de dispositivo distinto
- PA-DIM evita este problema: usa identificadores semánticos estándar (IEC 61987) para los parámetros de los dispositivos
- Es una capa de abstracción entre los datos de los dispositivos y los protocolos de comunicaciones empleados.
- Esta basado en el modelo de información de OPC-UA, por lo que se reduce la necesidad de mapeos y permite realizar diagnósticos procesables, configuración, commissioning y y monitoreo de condiciones
- Información de estado, estado y calibración en tiempo real
- Es compatible con los conceptos NOA y MTP de NAMUR

# FDI: Field Device Integration integración avanzada de dispositivos

FDI (Field Device Integration) : tecnología que unifica la descripción de dispositivos, sus interfaces gráficas y la lógica de negocio (business logic\*) en un solo archivo estandarizado

Permite la integración sencilla de dispositivos con distintos protocolos en un sistema host (PLC, DCS o AMS)

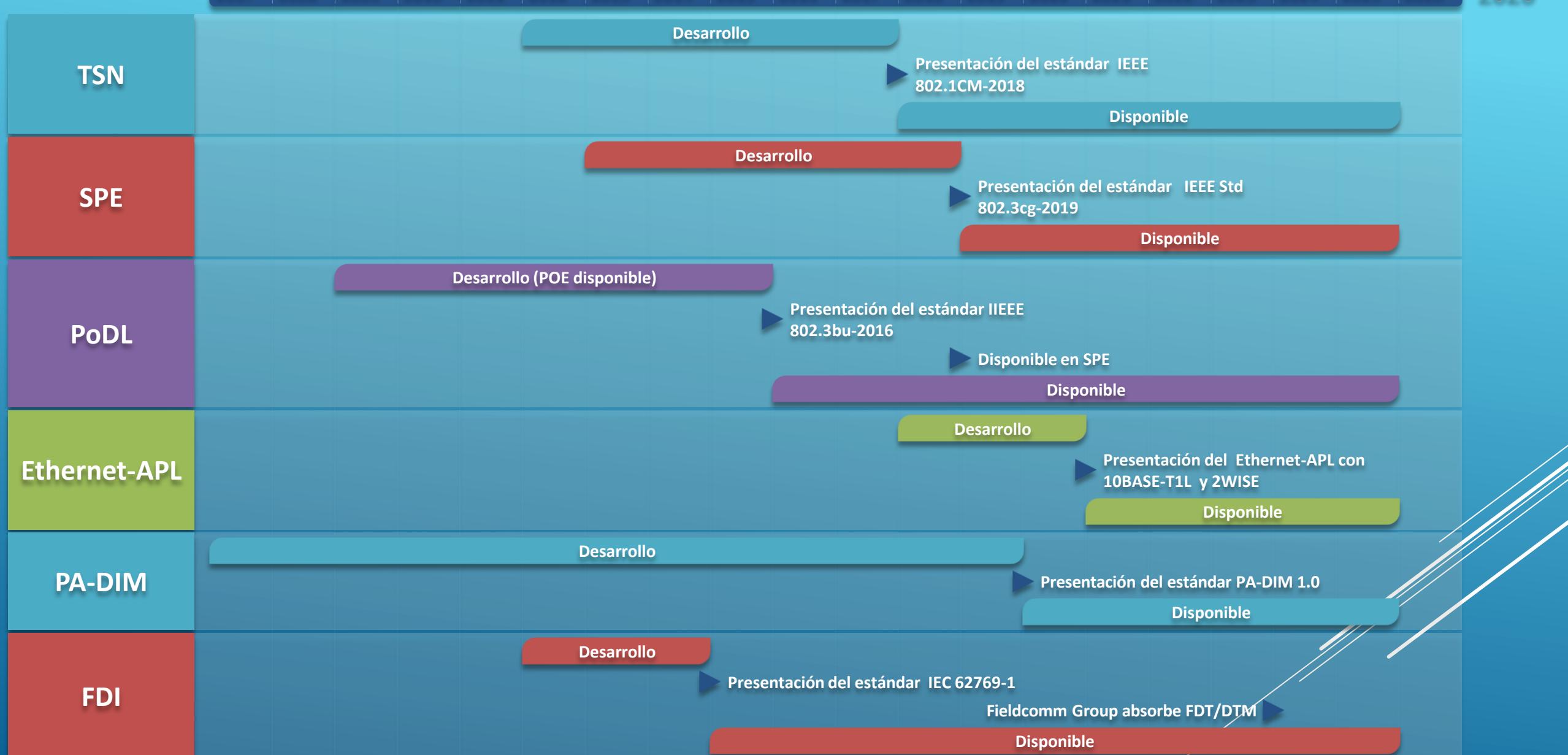
Actúa como una capa de abstracción que oculta las diferencias entre protocolos mediante un Framework estandarizado

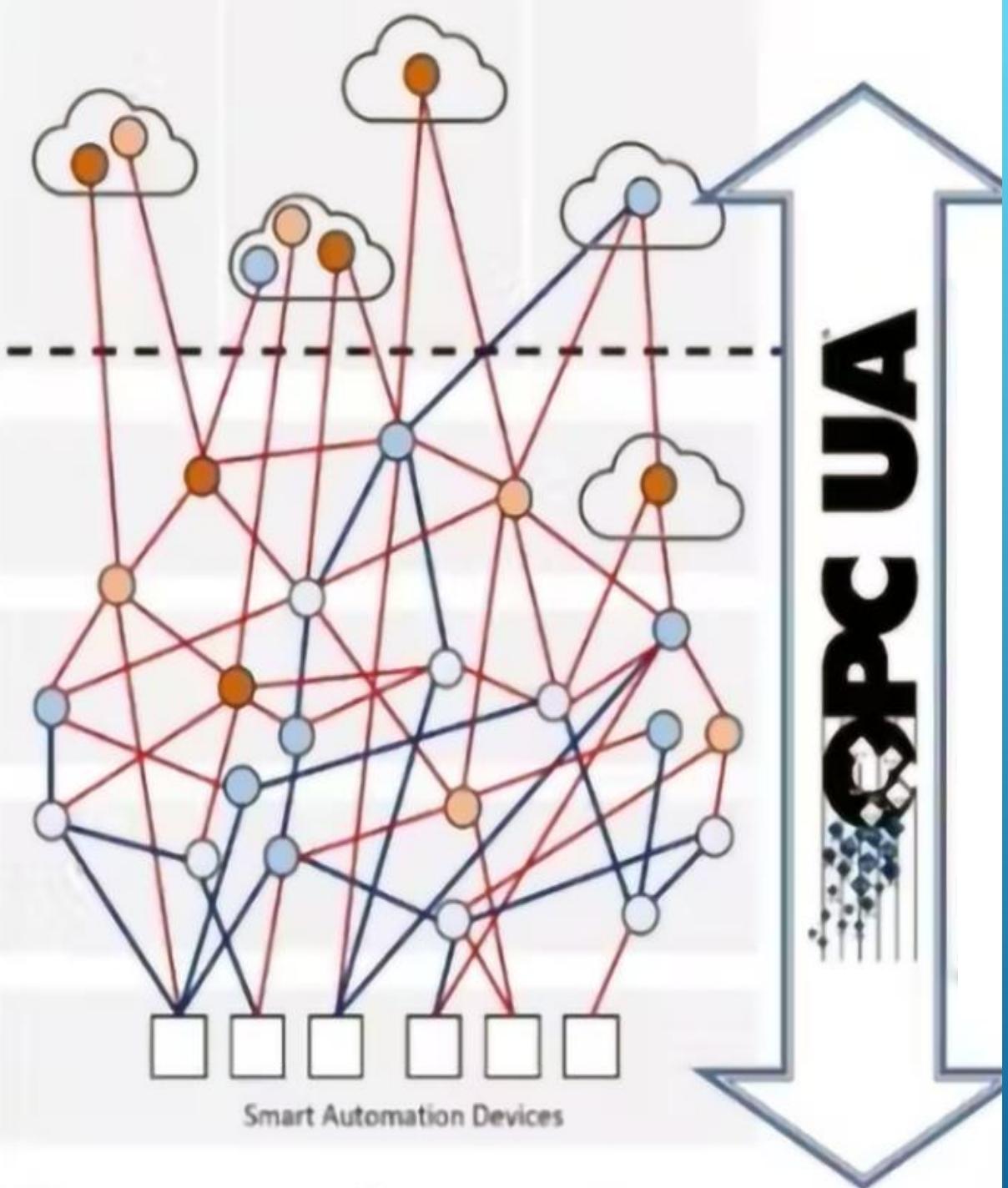
Se unifica la integración de dispositivos de distintos fabricantes

**\* Se denomina Business logic a la parte de un programa de software que se encarga de codificar las reglas de funcionamiento del mundo real que especifican como pueden crearse, almacenarse o cambiarse los datos empleados por dicho software.**

# Como se relacionan FDI, OPC UA y PA-DIM

Tecnología	Función	Relación
<b>OPC UA</b>	Estándar para el modelado de la comunicación y la información	Backbone seguro y escalable para el intercambio de datos independiente de las plataformas conectadas
<b>PA-DIM</b>	Modelo de información para dispositivos de automatización de procesos	Define un modelo estándar basado en OPC UA para la representación de los datos generados por un dispositivo independientemente del proveedor y del protocolo de comunicaciones usado
<b>FDI</b>	Framework para la integración de dispositivos de campo	Método unificado para instalar, configurar y administrar equipos sobre varios protocolos

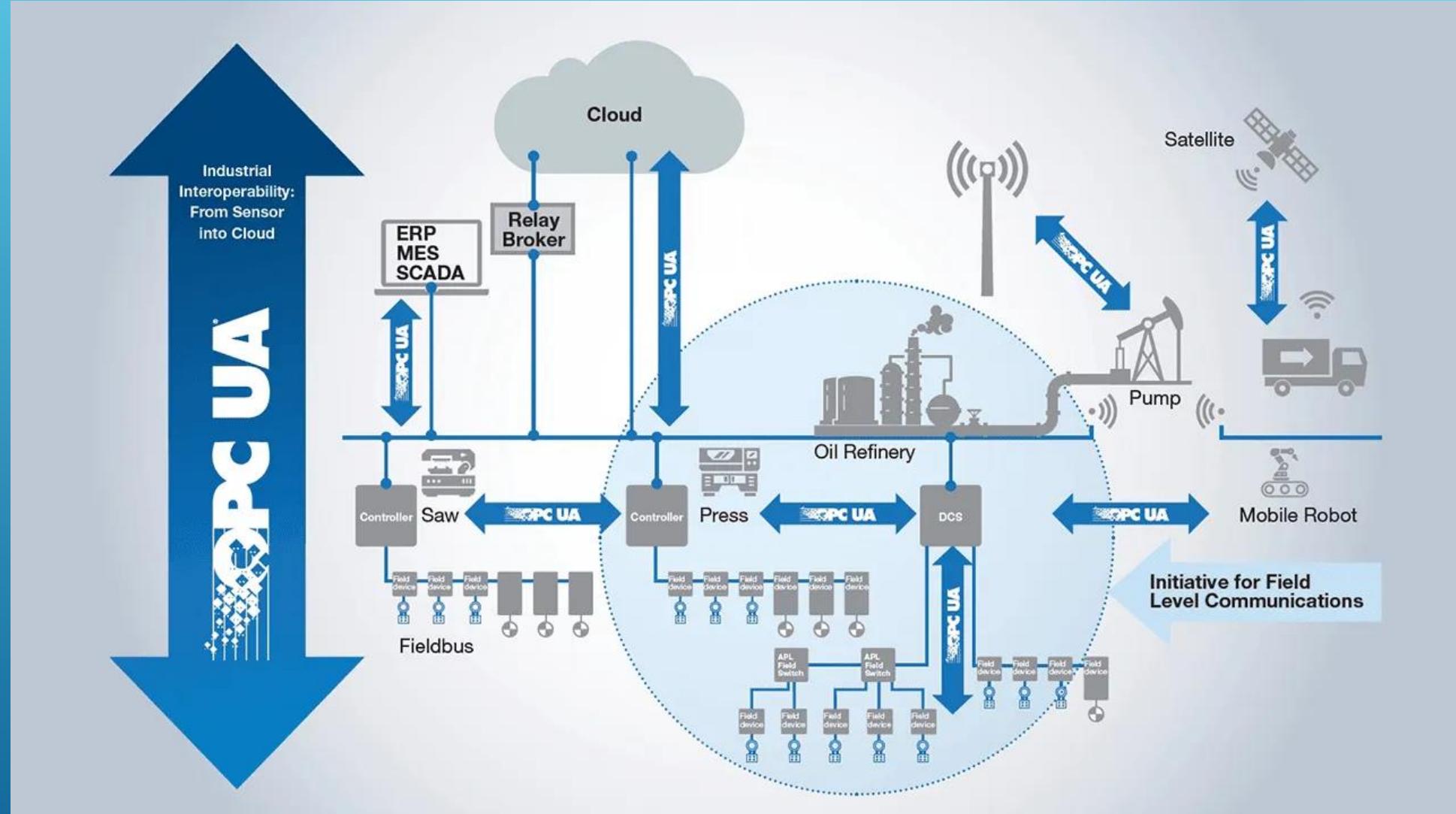




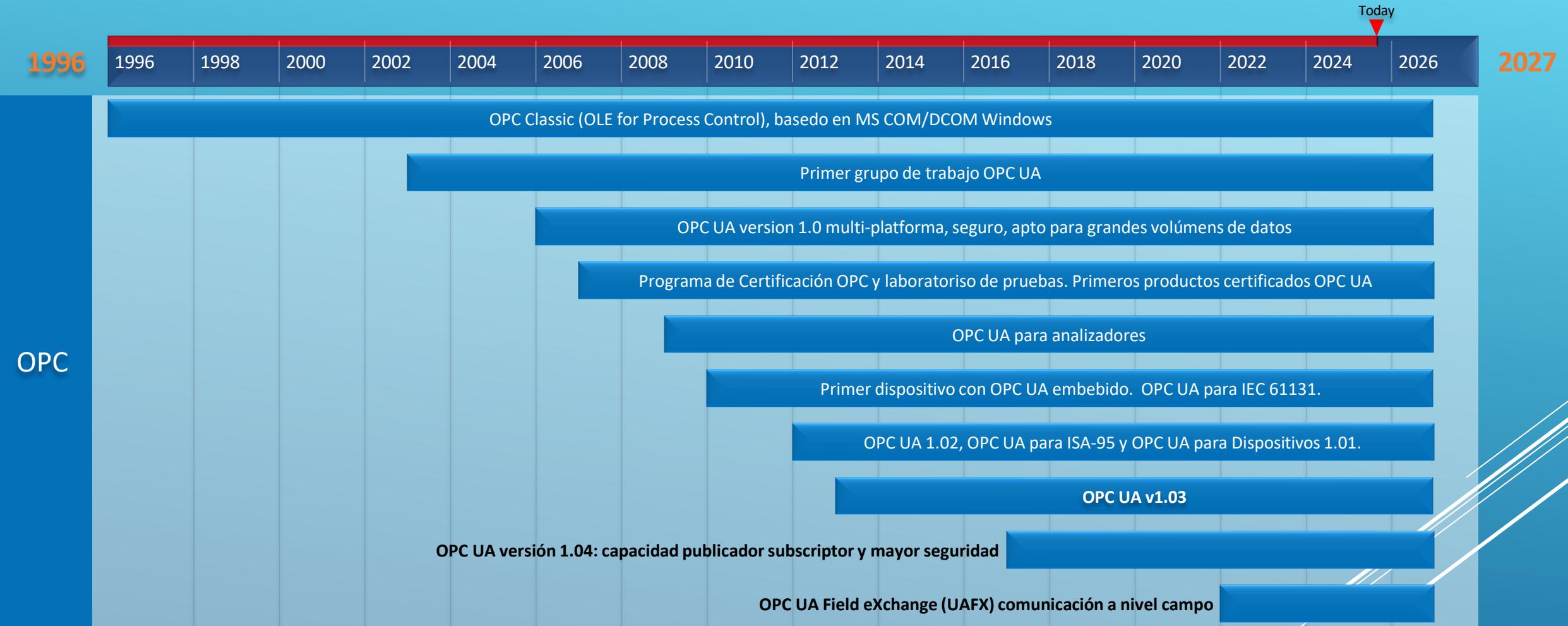
Un nuevo paradigma  
en la Automatización  
Industrial

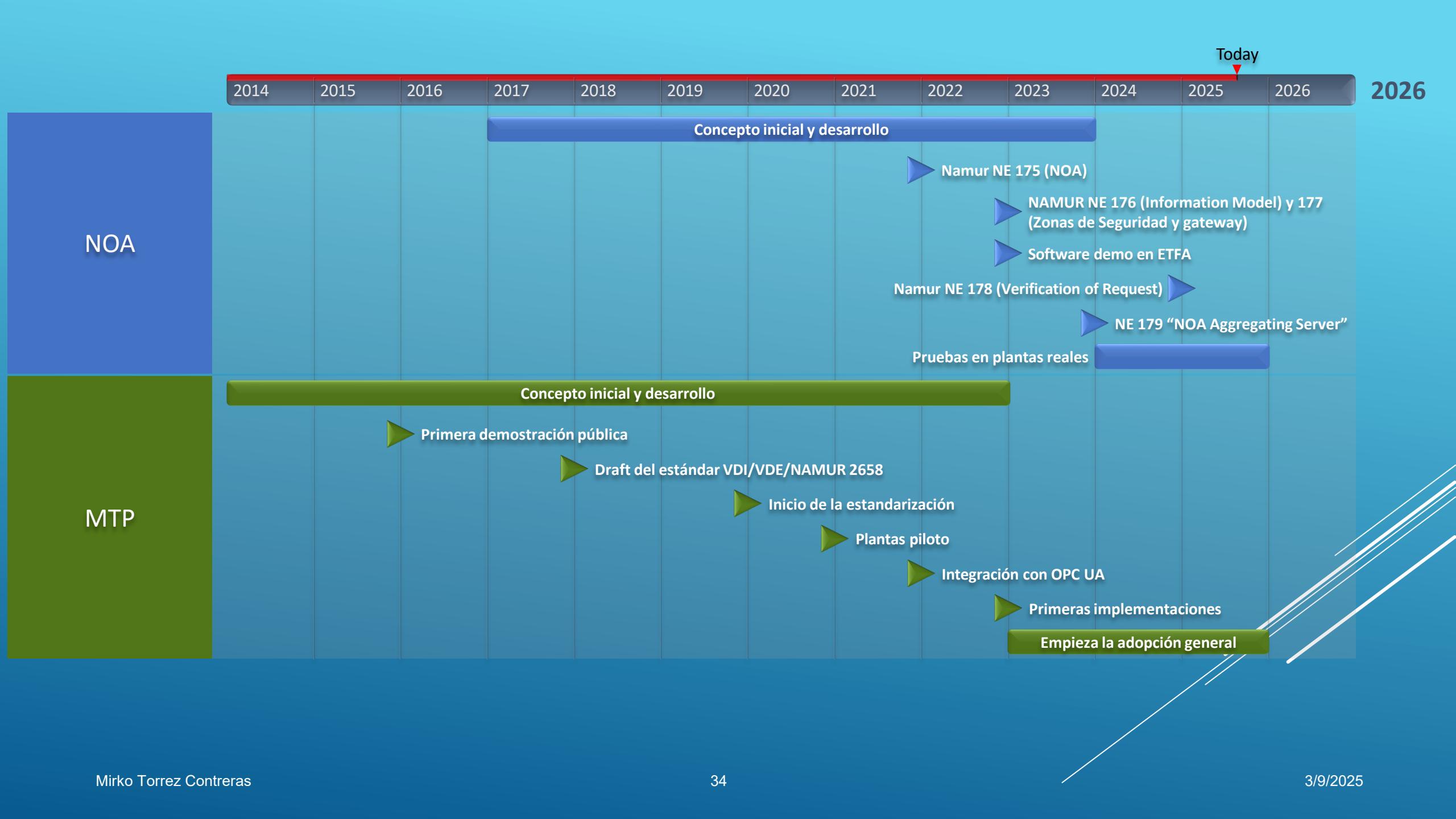


# OPC UA (Open Platform Communications Unified Architecture)



# Evolución de OPC UA (Open Platform Communications Unified Architecture)





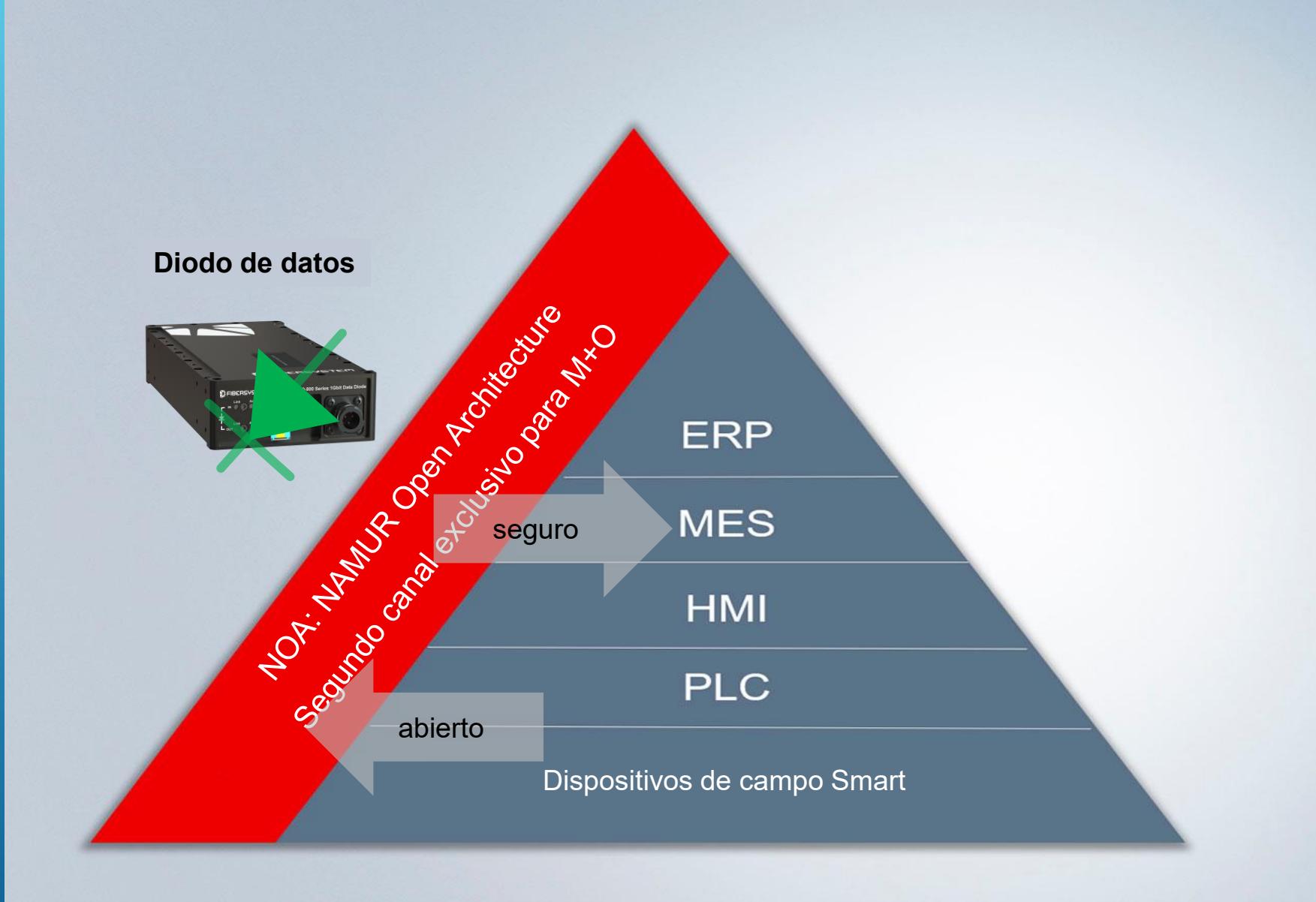
# NAMUR NOA: Arquitectura Abierta para la Automatización de Procesos

NAMUR NOA: arquitectura modular que permite el acceso a datos de diagnóstico y monitoreo de los dispositivos en red para la integración segura y escalable con recursos tales como IIoT y la nube.

- Habilita un segundo canal de acceso a la información de M + O (Mantenimiento y operación).
- Separación funcional: Control y monitoreo en capas independientes
- Seguridad: Acceso controlado sin comprometer el sistema de control
- Interoperabilidad: Basado en estándares abiertos (OPC UA, PA-DIM, FDI)
- Amplio acceso a datos: Salud de dispositivos, mantenimiento predictivo
- Preparado para Industria 4.0: Facilita análisis avanzado y digitalización

Objetivo: Modernizar plantas de proceso sin reemplazar infraestructuras existentes, habilitando nuevas capacidades sin riesgos operativos.

# NAMUR NOA: Arquitectura Abierta para la Automatización de Procesos



# NAMUR MTP: Modularización Inteligente para Plantas de Proceso

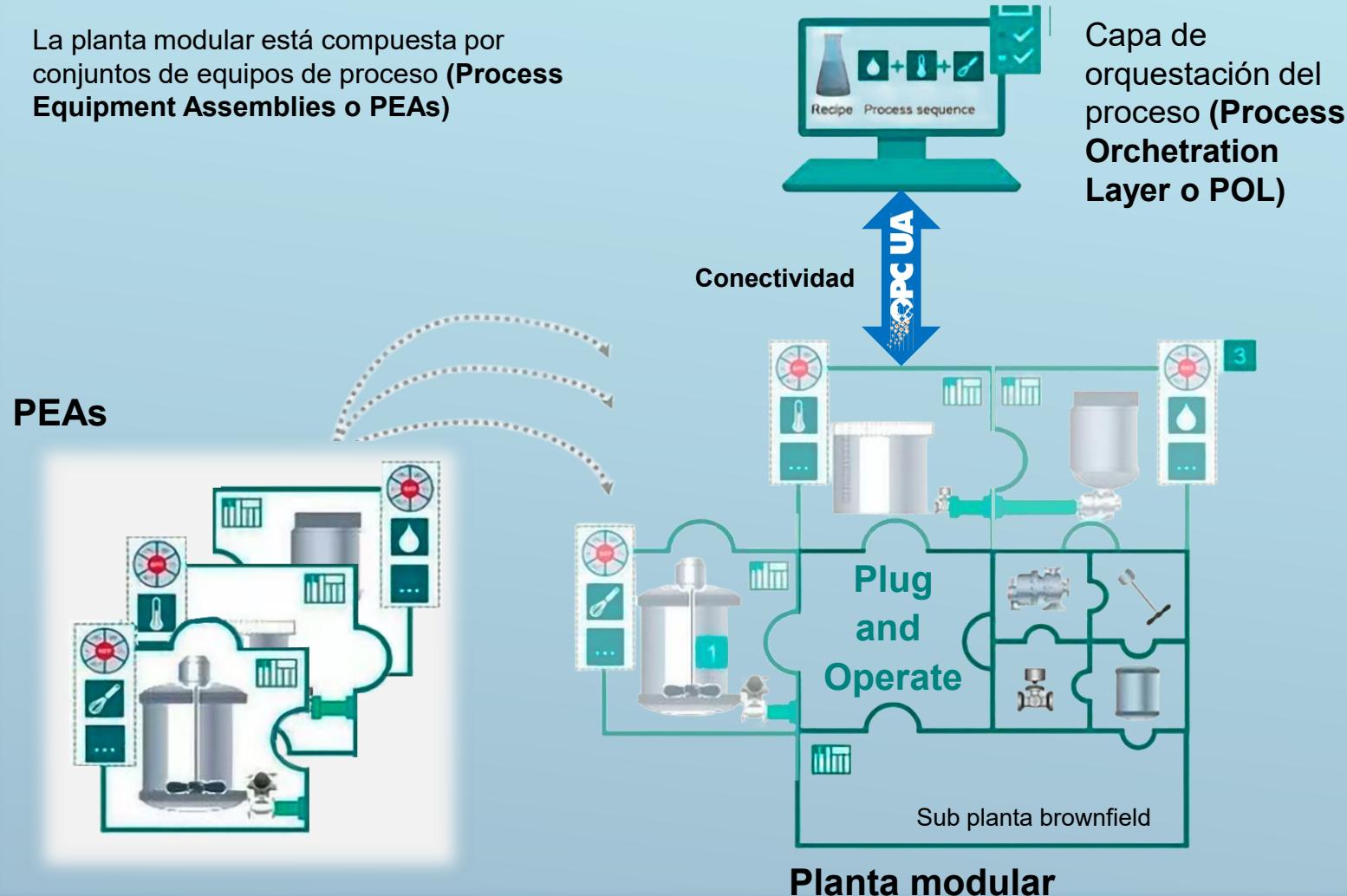
MTP (Module Type Package) es un estándar desarrollado por NAMUR y ZVEI que permite integrar módulos de proceso de forma rápida, flexible y multivendor en sistemas de control superiores.

- Conceptos clave:
- Integración plug & play de unidades modulares (Package Units)
- Descripciones funcionales estandarizadas en formato MTP
- Generación automática de HMI y servicios de control
- Interoperabilidad entre PLCs, DCS y sistemas de ingeniería mediante OPC UA
- Se reemplaza el procedimiento commisioning por el de orquestación

Objetivo: Facilitar la automatización modular, mejorar la escalabilidad y permitir la reutilización de módulos en entornos industriales dinámicos.

# NAMUR MTP: Modularización Inteligente para Plantas de Proceso

La planta modular está compuesta por conjuntos de equipos de proceso (**Process Equipment Assemblies o PEAs**)



# Orquestación de procesos: Process Orchestration Layer (POL)

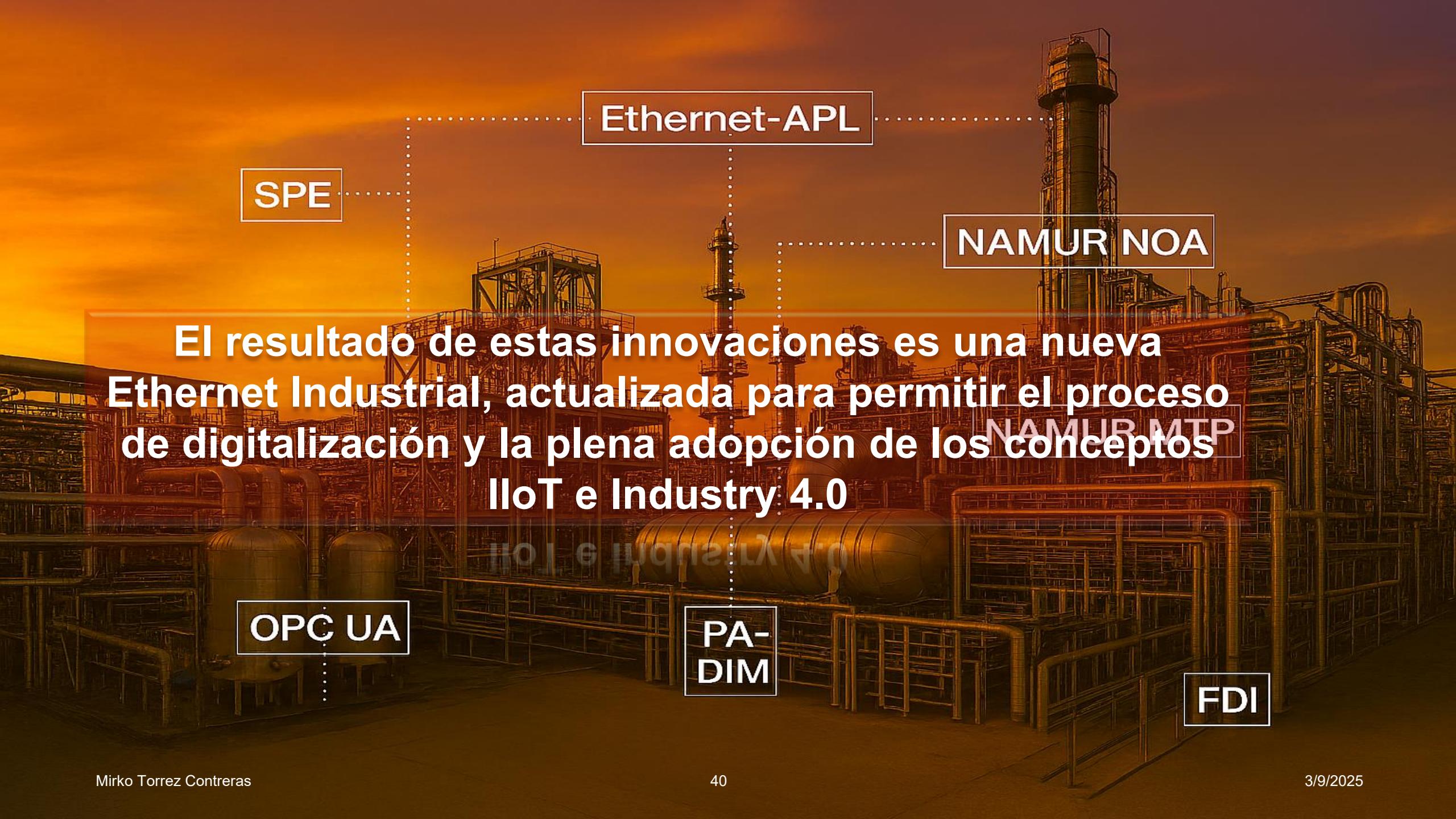
En el arranque de una planta automatizada:

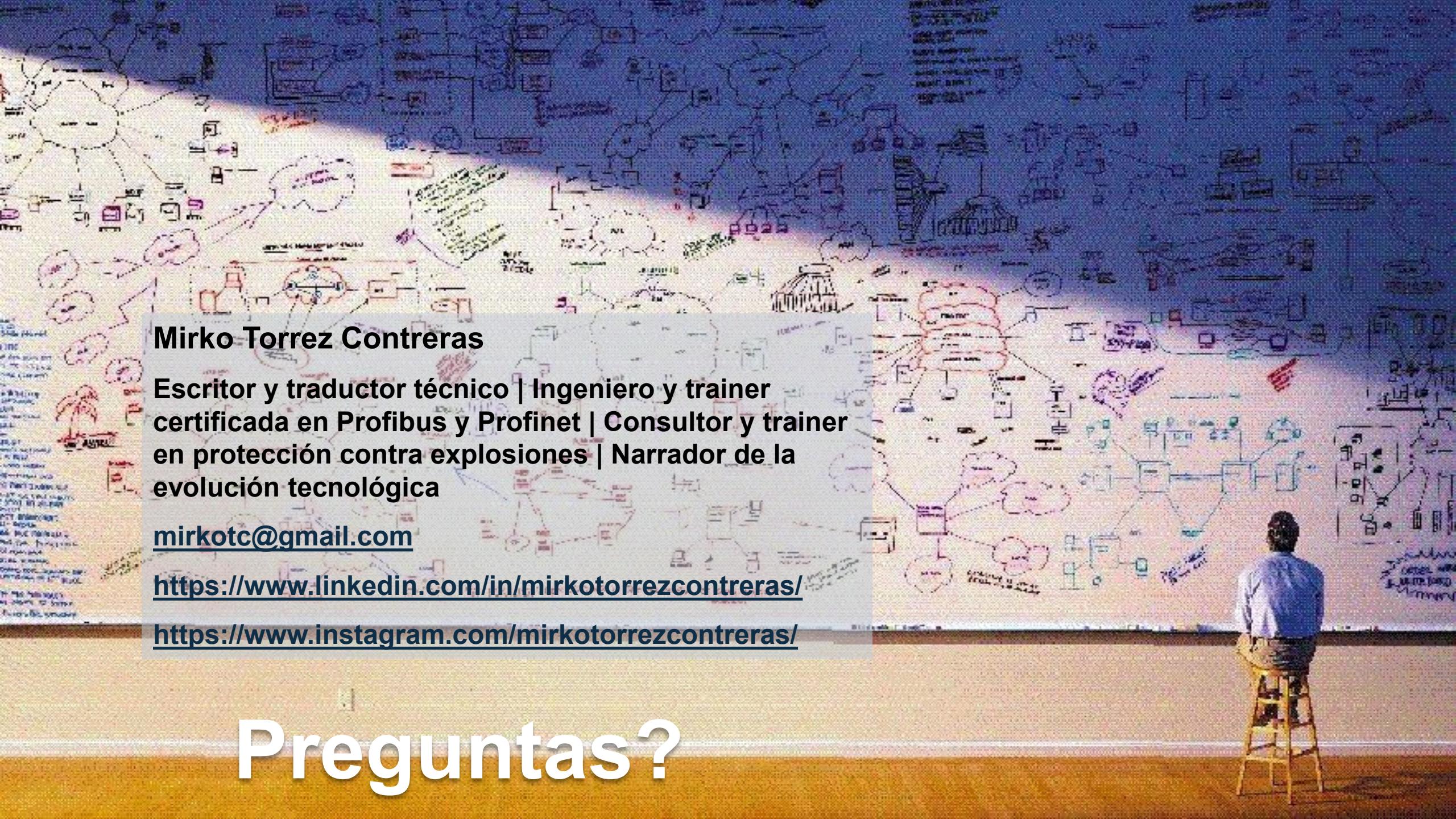
- Los sistemas se inicializan en una secuencia específica.
- Se verifican los controles de seguridad y los enclavamientos.
- Las dependencias (por ejemplo, presión, temperatura, flujo) se monitorean antes de continuar.
- Los errores activan rutinas o alertas de reserva.

La orquestación de procesos hace todo eso, pero de manera continua.

La capa de orquestación de procesos cumple además las siguientes tareas:

- Reevalúa las condiciones dinámicamente.
- Adapta los flujos de trabajo en función de los datos en tiempo real.
- Coordenadas entre unidades modulares (especialmente en arquitecturas MTP/NAMUR).
- Garantiza el cumplimiento y la trazabilidad durante toda la operación, no solo en el inicio.





Mirko Torrez Contreras

Escritor y traductor técnico | Ingeniero y trainer  
certificada en Profibus y Profinet | Consultor y trainer  
en protección contra explosiones | Narrador de la  
evolución tecnológica

[mirkotc@gmail.com](mailto:mirkotc@gmail.com)

<https://www.linkedin.com/in/mirkotorrezcontreras/>

<https://www.instagram.com/mirkotorrezcontreras/>

Preguntas?