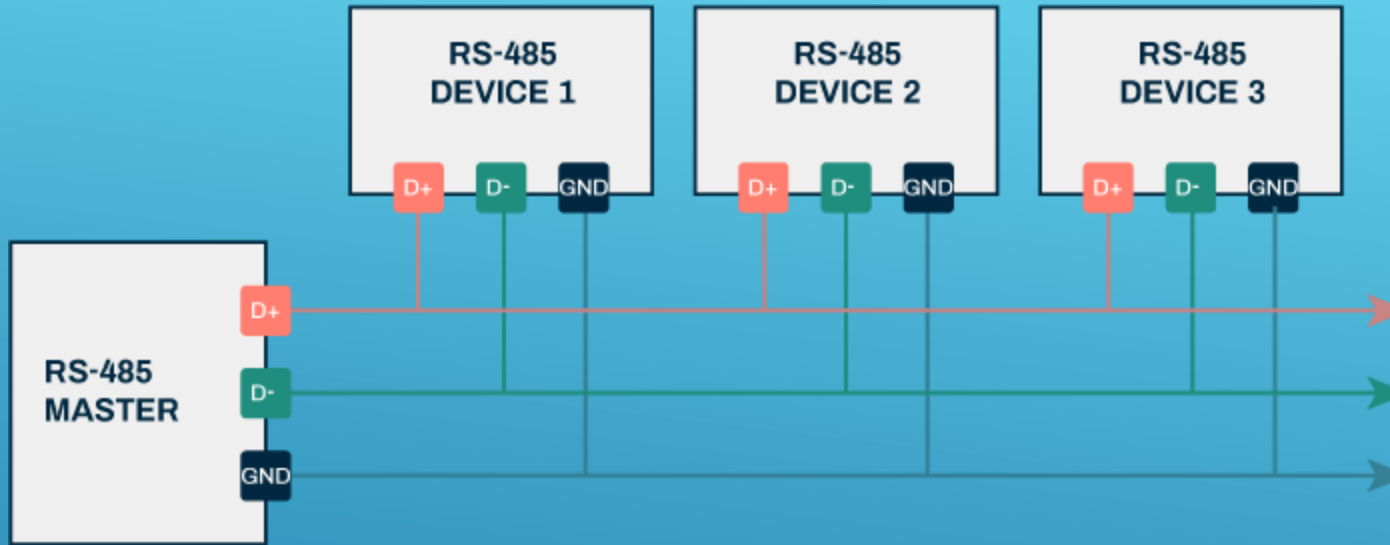


La evolución de la tecnología Ethernet Industrial

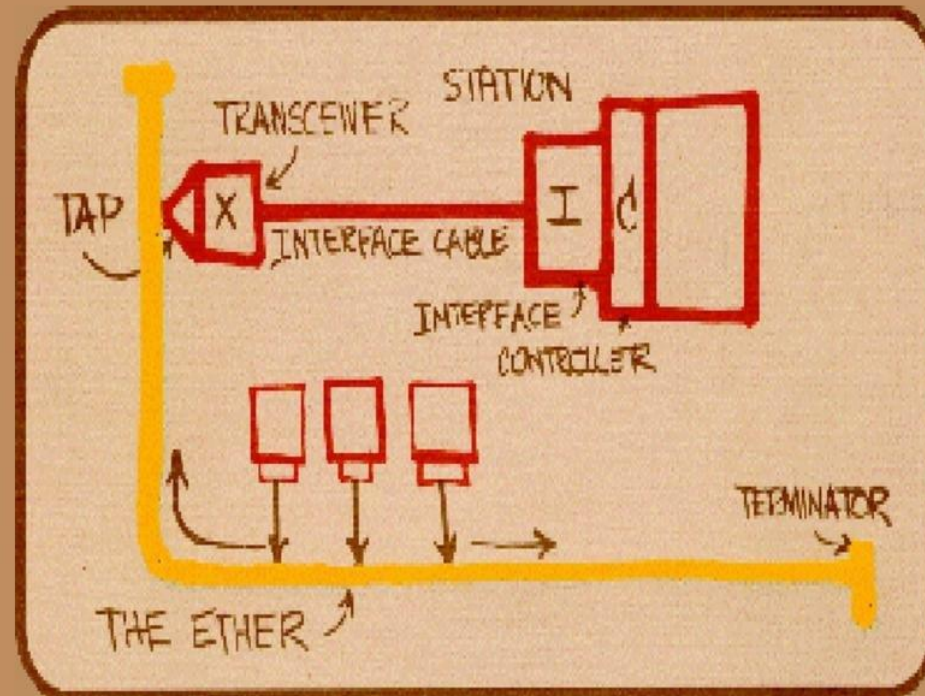


Las primeras redes industriales eran seriales

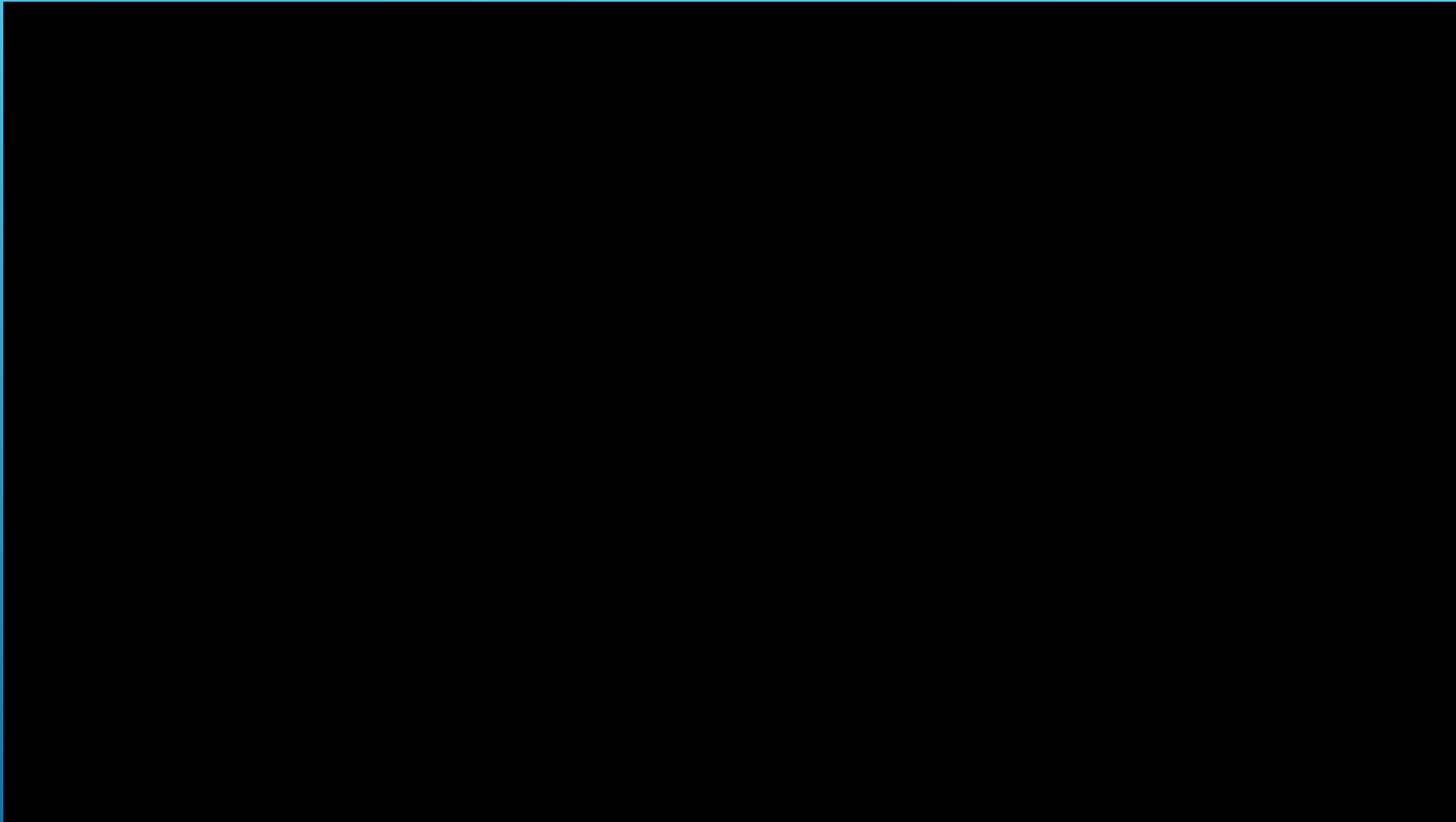


- Determinísticas, el tiempo de ciclo está fijado por el maestro
- Garantizan un tiempo de respuesta preciso y predecible (determinístico)
- Resistentes a los ambientes industriales (ambientales y EMC)
- Cableado simple y robusto
- Ancho de banda? Hasta 10/12 Mbps en RS-485 (tramos de 15 m)
- Profibus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

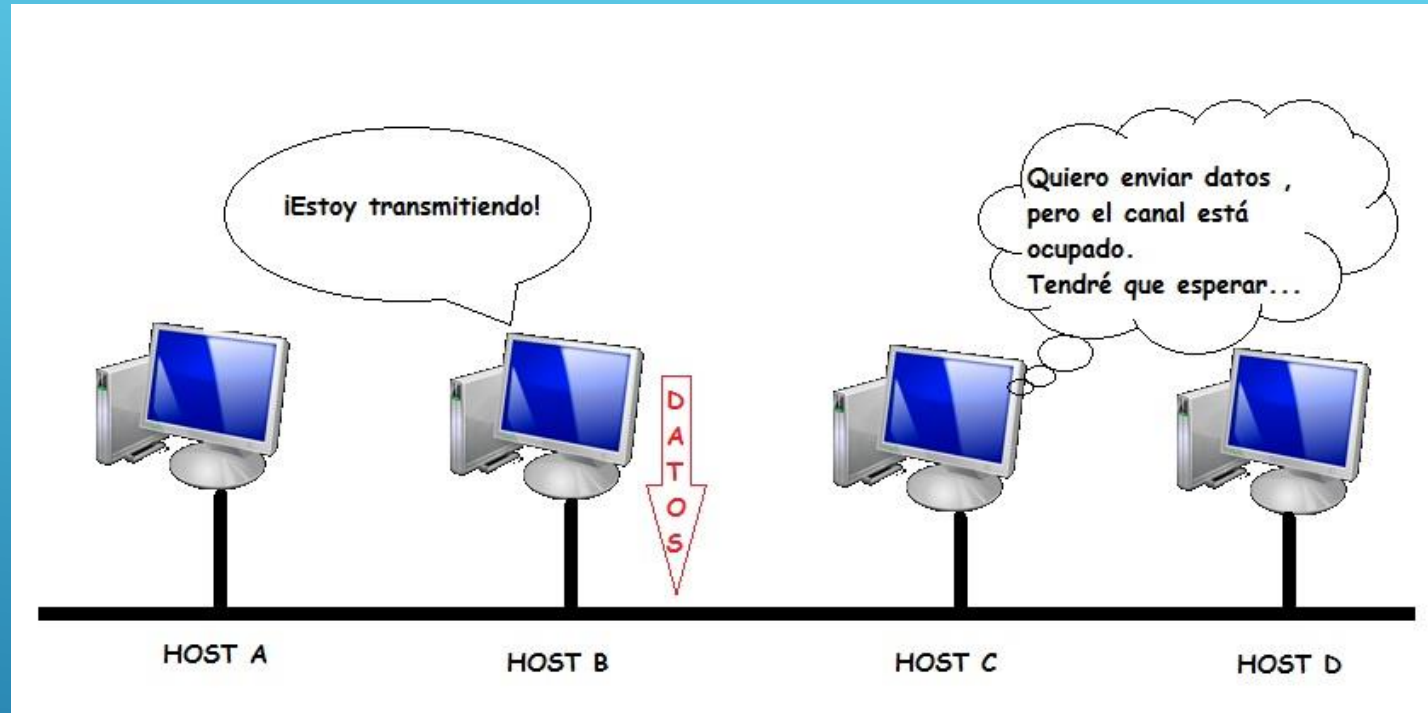
Sin embargo en 1973, Bob Metcalf tuvo una idea en un cafe



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 swiches 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

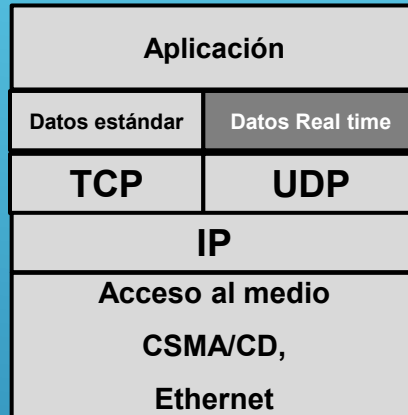
Modbus TCP (The Modbus Organization)

EtherNet/IP (ODVA)

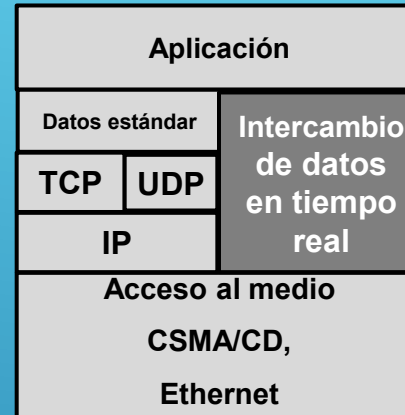
Profinet (PI International)

EtherCAT (EtherCAT Technology Group o ETG)

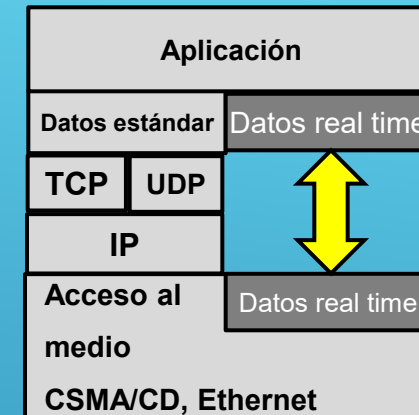
Ethernet Industrial: las soluciones usadas en los protocolos RT



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...

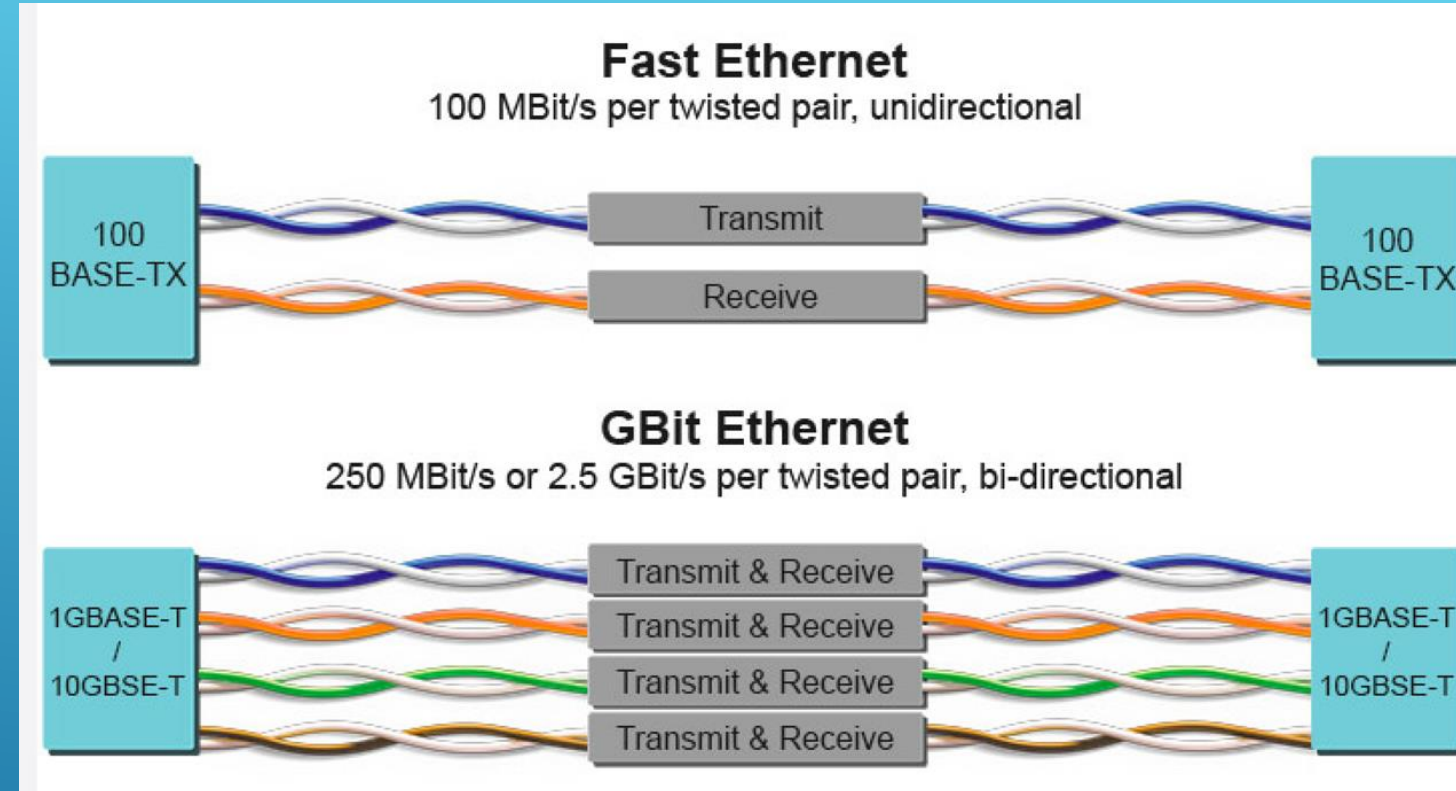
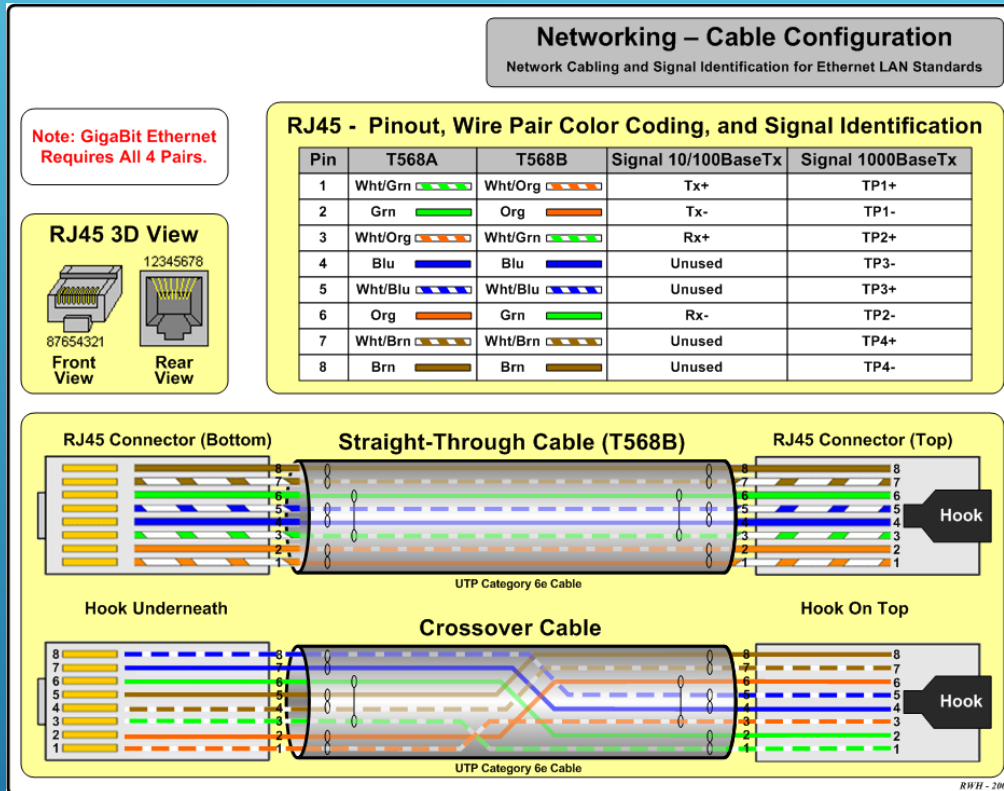


Como conectores adecuados para uso industrial...



- 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

Fast-Ethernet

Gigabit

WIFI

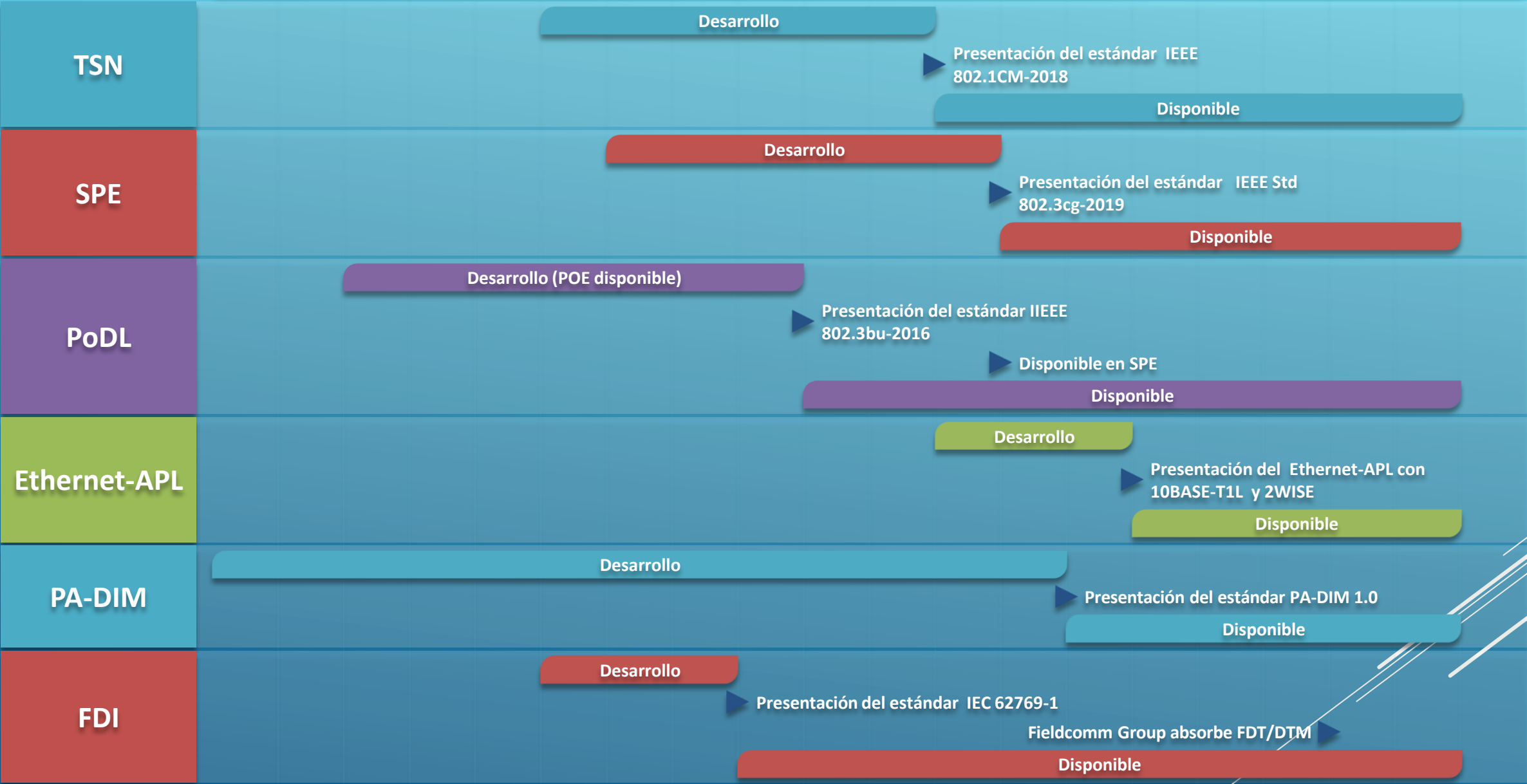
...

SPE
10Base-T1L

APL
10Base-T1L



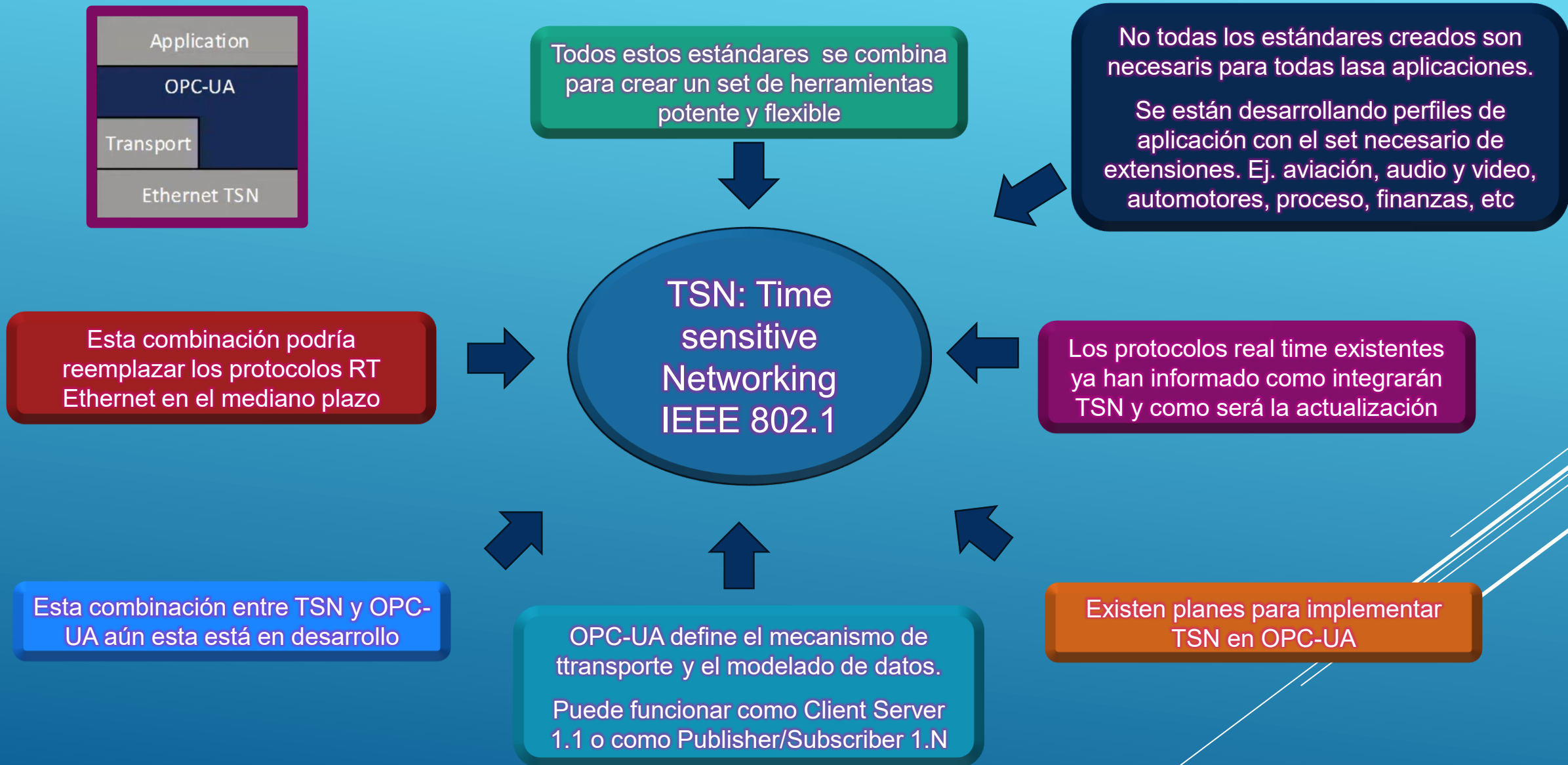
Una nueva Ethernet Industrial mejorada



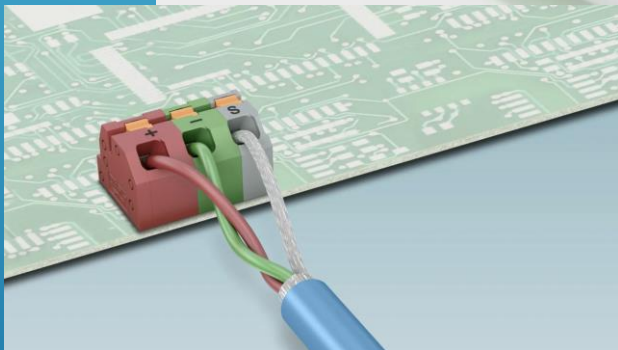
TSN: Un standard para hacer Ethernet RT y determinística



TSN: Un standard para hacer Ethernet RT y determinística

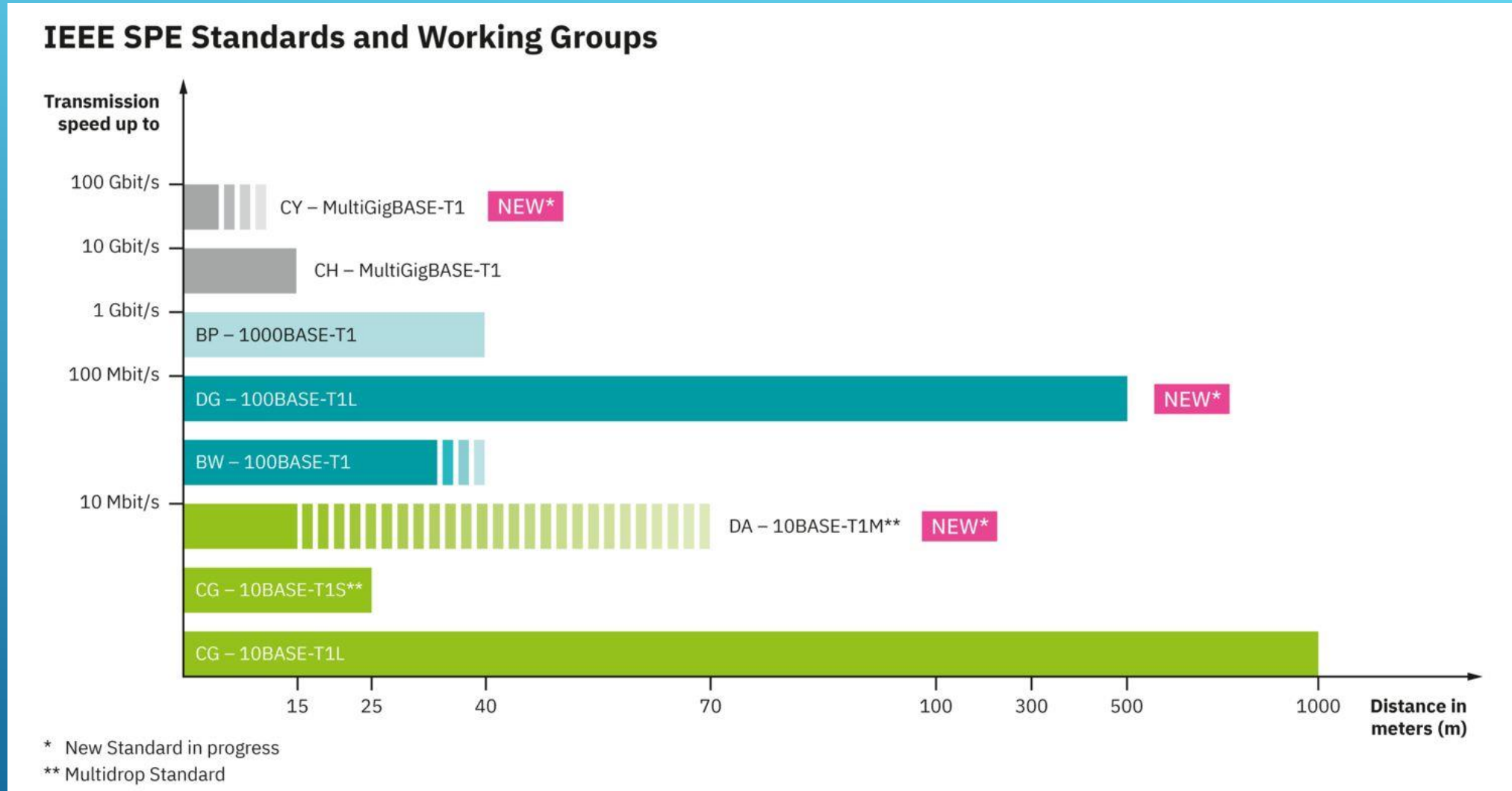


Una nueva capa física: Single Pair Ethernet o Ethernet por 2 hilos



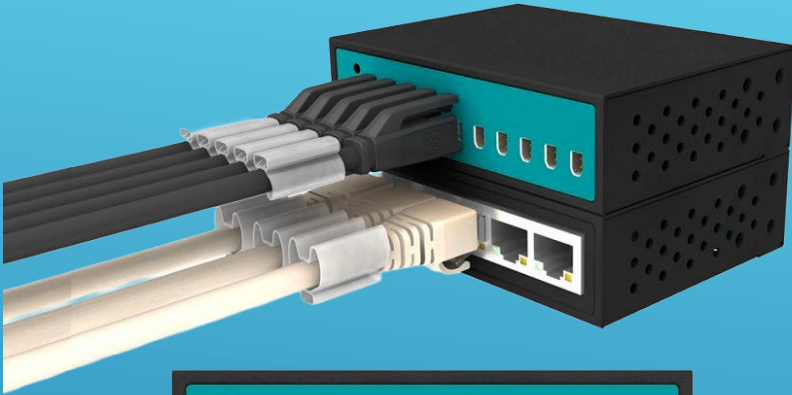
- PHY y chipsets dedicados
- Conectores especializados (por ejemplo, IP20, en borneras terminales, conectores M8/M12 para entornos industriales)
- Componentes pasivos para protección EMC y aislamiento galvánico
- Cableado a medida para aplicaciones fijas, flexibles o ambientes demandantes

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

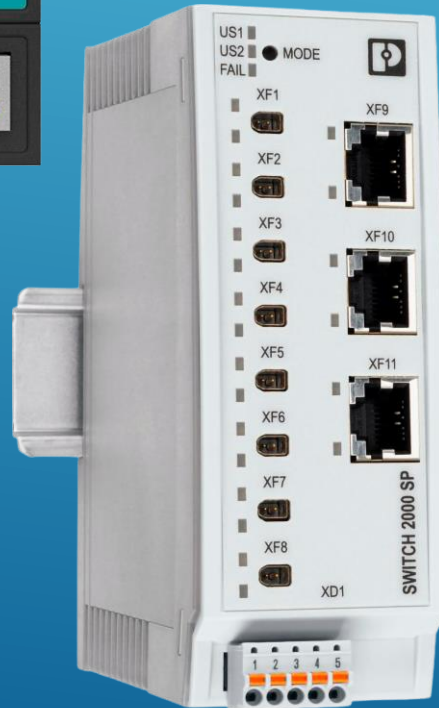


Se están desarrollando perfiles SPE para distintos entornos industriales

SPE: Single Pair Ethernet o Ethernet por 2 hilos

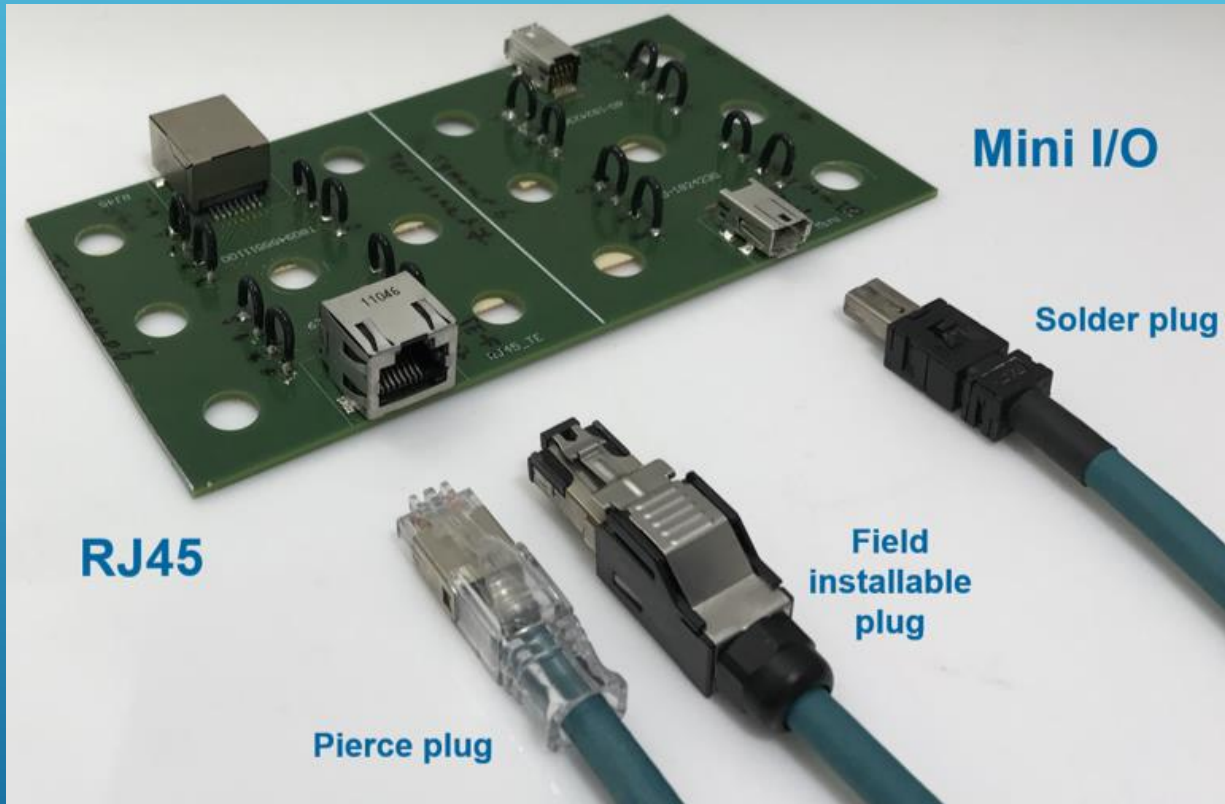


Los conectores ocupan un espacio 25% menor en área frontal



- 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

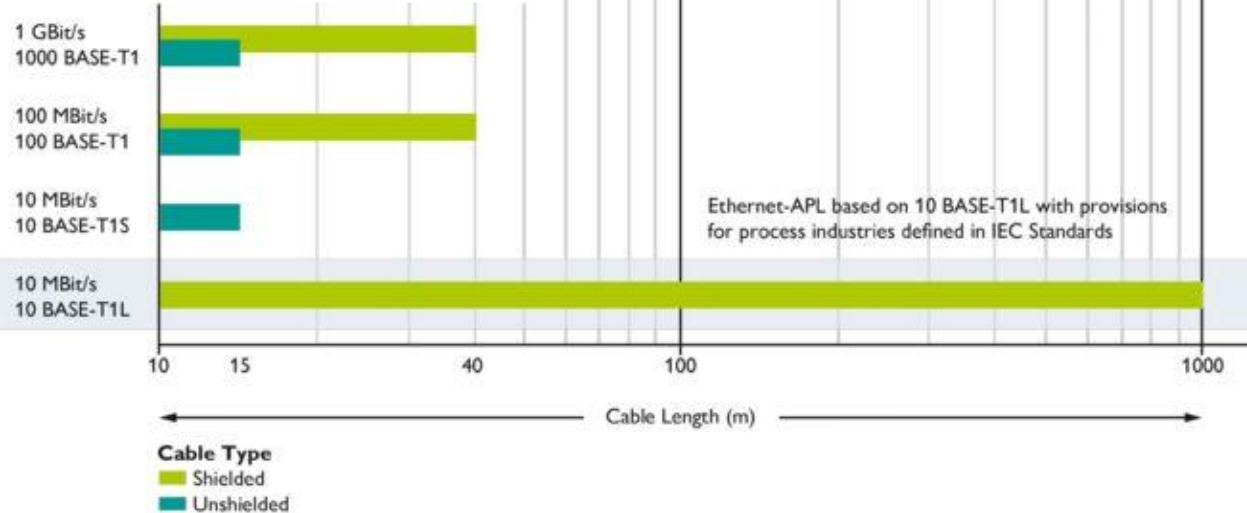
SPE: Single Pair Ethernet o Ethernet por 2 hilos



- 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).

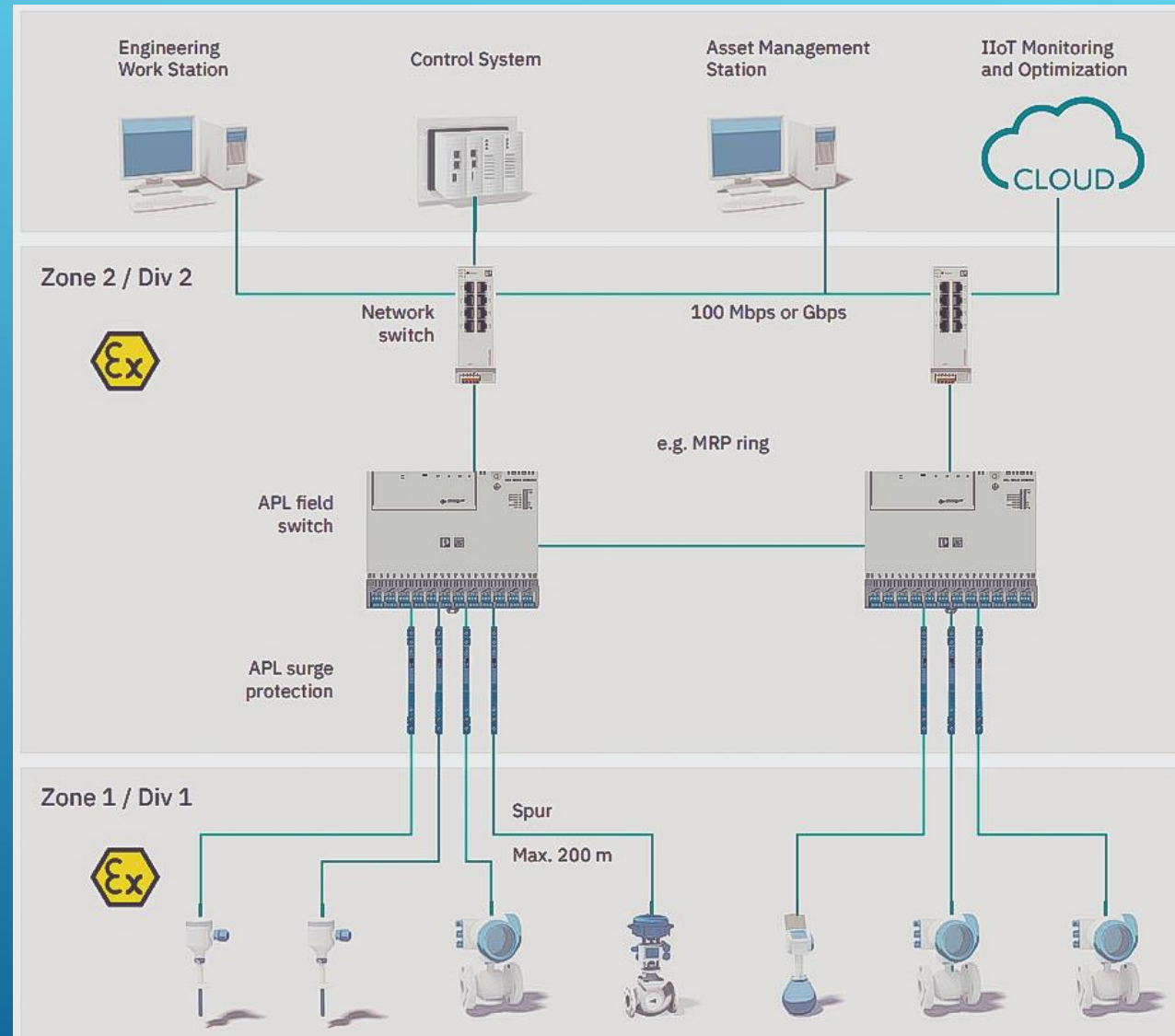
Ethernet-APL: Ethernet en el campo usando cable tipo A

Speed (M...Gbit/s)
Ethernet Type

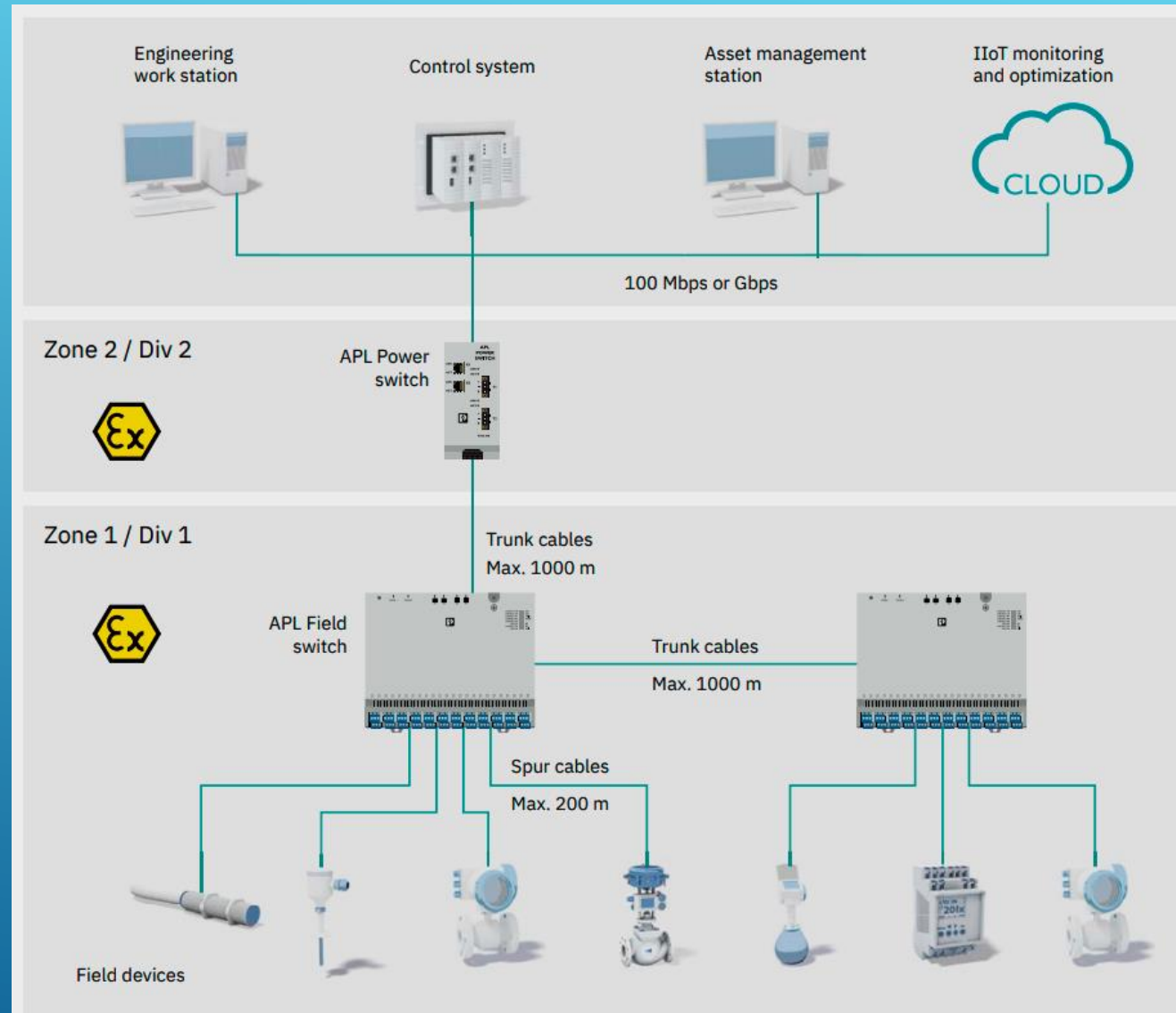


- Basado en SPE, utiliza 2 hilos para datos y alimentación.
- Hasta 1000 m en el troncal y 200 en los spurs.
- Topologías estrella y troncal con spurs
- Compatible con aplicaciones IIC mediante el concepto 2WISE IEC TS 60079-47, seguridad intrínseca sin verificación
- Interoperable, al ser una capa física 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)

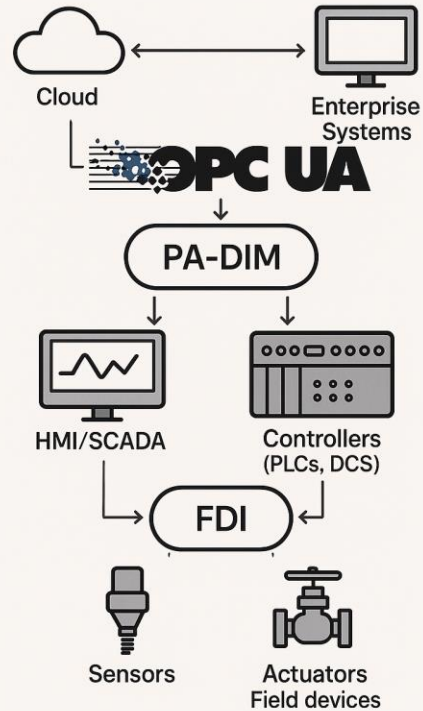
Actúa como una capa de abstracción que oculta las diferencias entre protocolos mediante un Framework estandarizado

Se unifica la integración de dispositivos de distintos fabricantes

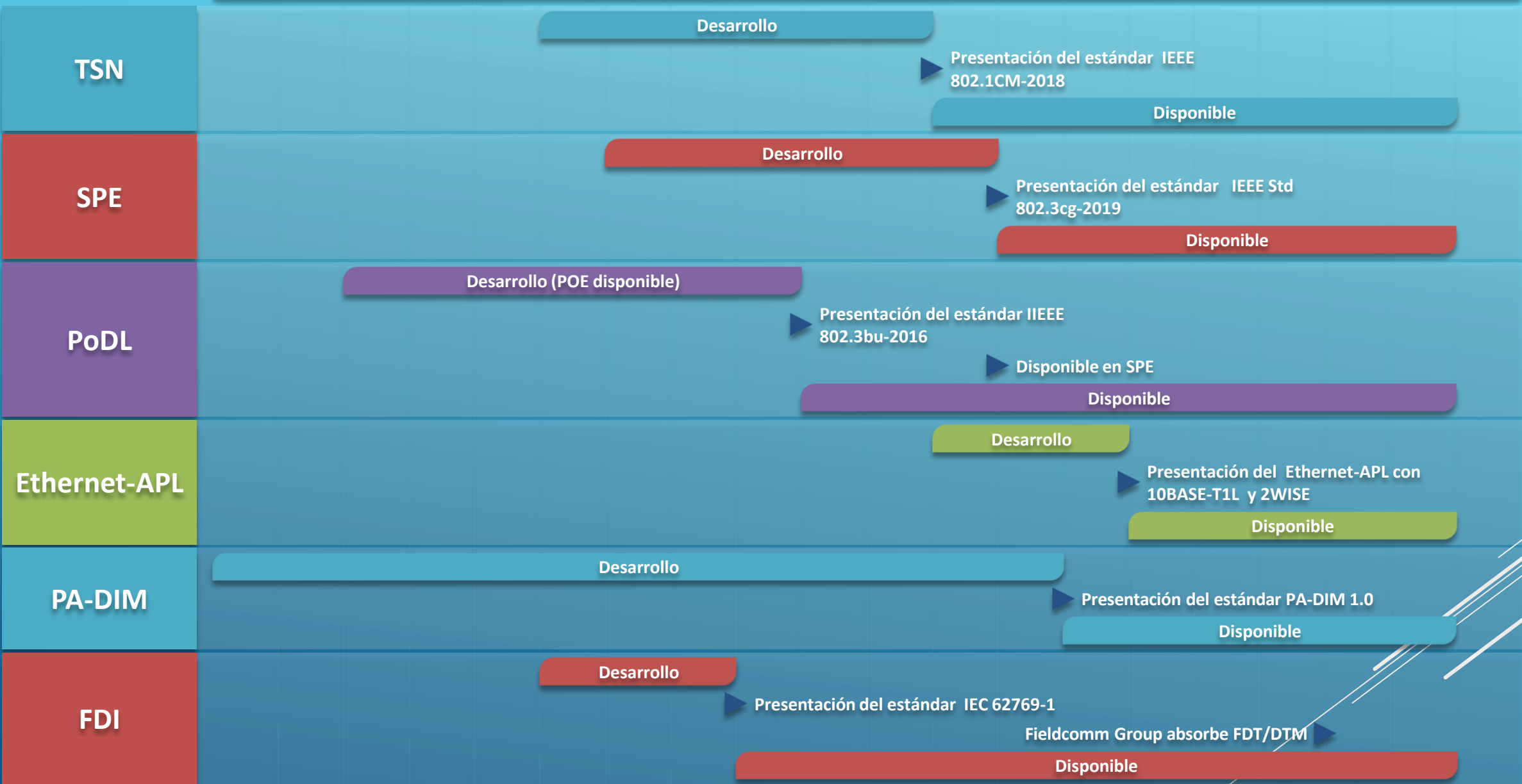
*** Se denomina Business logic a la parte de un programa de software que se encarga de codificar las reglas de funcionamiento del mundo real que especifican como pueden crearse, almacenarse o cambiarse los datos empleados por dicho software.**

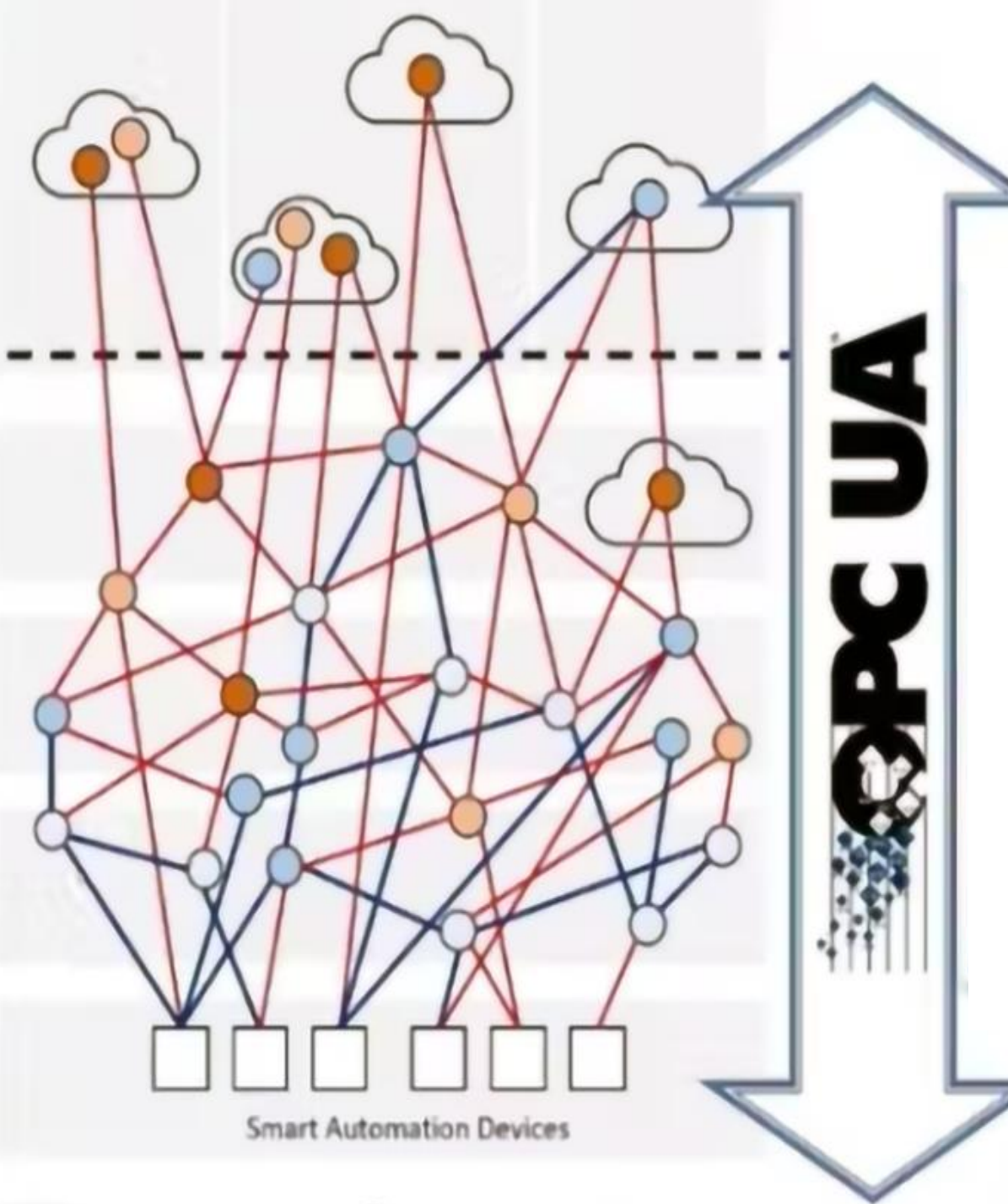
Como se relacionan FDI, OPC UA y PA-DIM

Integración en una arquitectura moderna



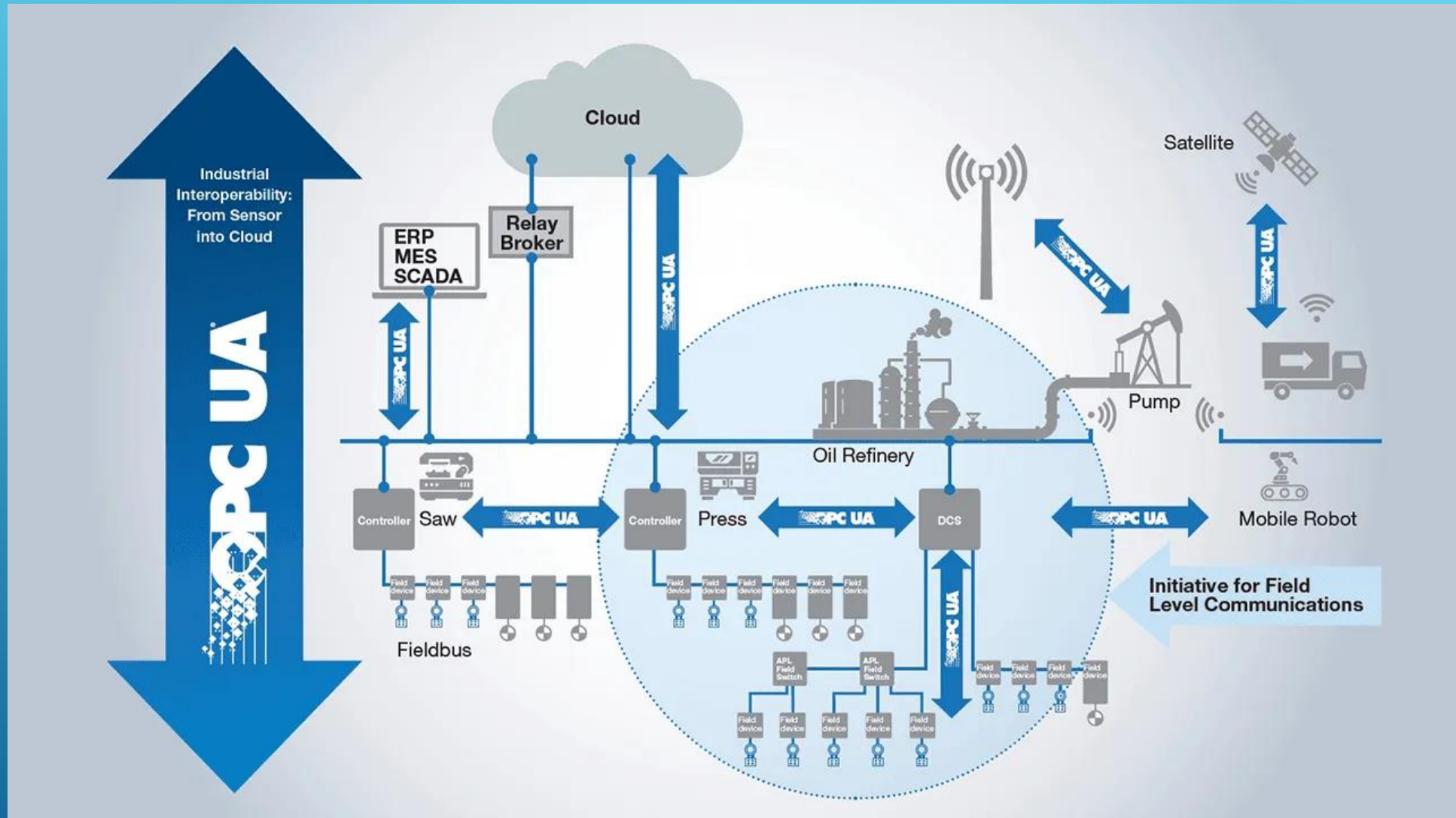
| Tecnología | Función | Relación |
|---------------|---|--|
| OPC UA | Estándar para el modelado de la comunicación y la información | Backbone seguro y escalable para el intercambio de datos independiente de las plataformas conectadas |
| PA-DIM | Modelo de información para dispositivos de automatización 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 |
| FDI | Framework para la integración de dispositivos de campo | Método unificado para instalar, configurar y administrar equipos sobre varios protocolos |



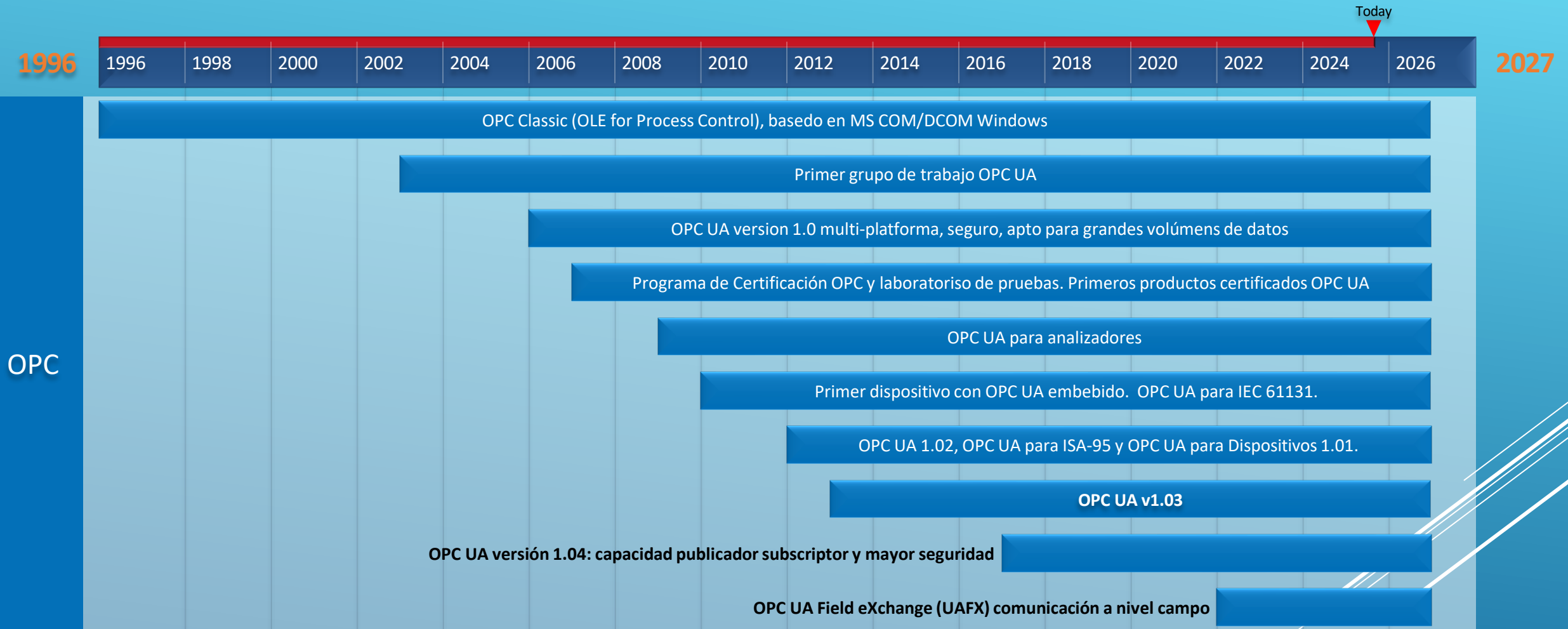


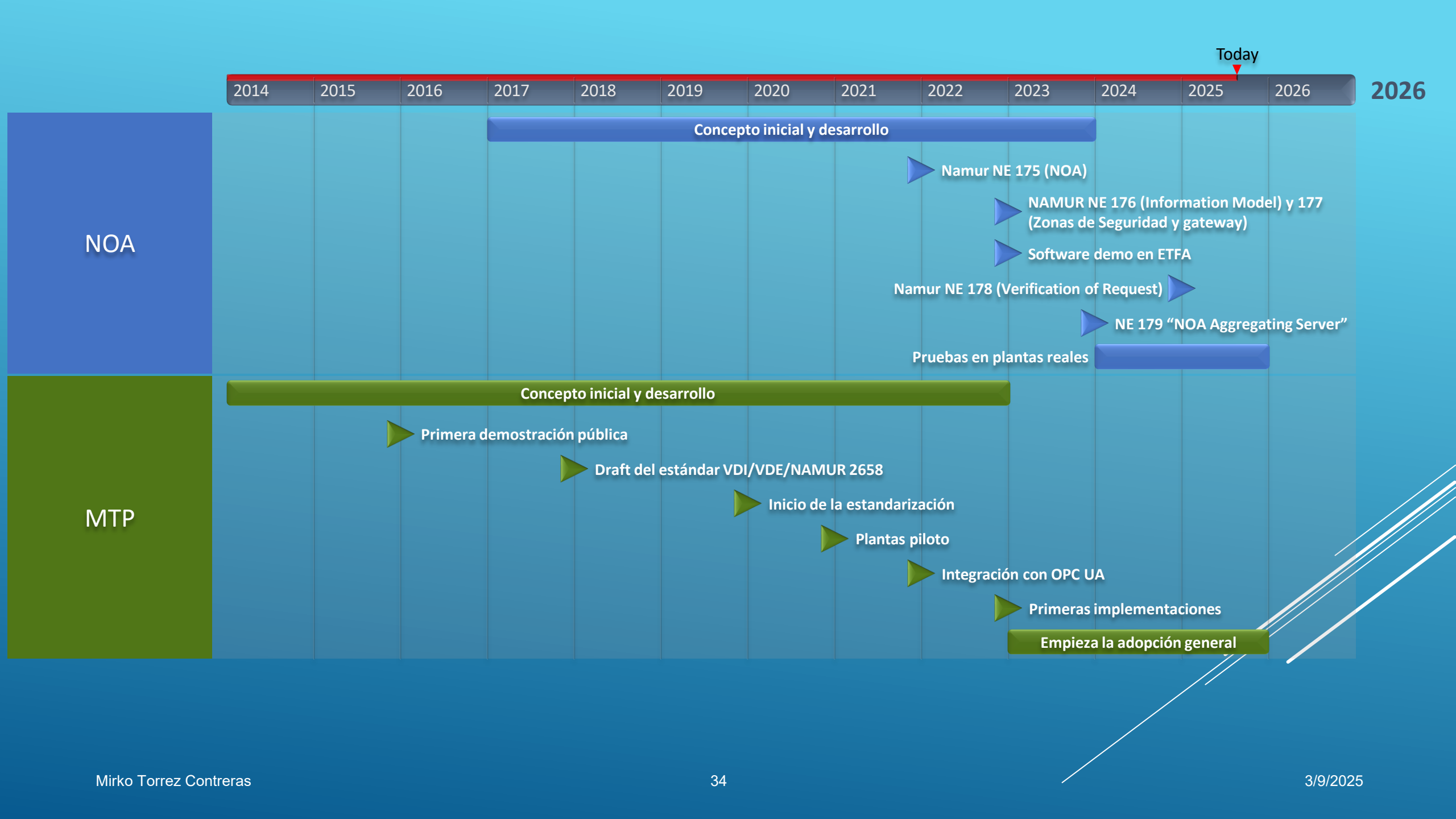
Un nuevo paradigma en la Automatización Industrial

OPC UA (Open Platform Communications Unified Architecture)



Evolución de OPC UA (Open Platform Communications Unified Architecture)





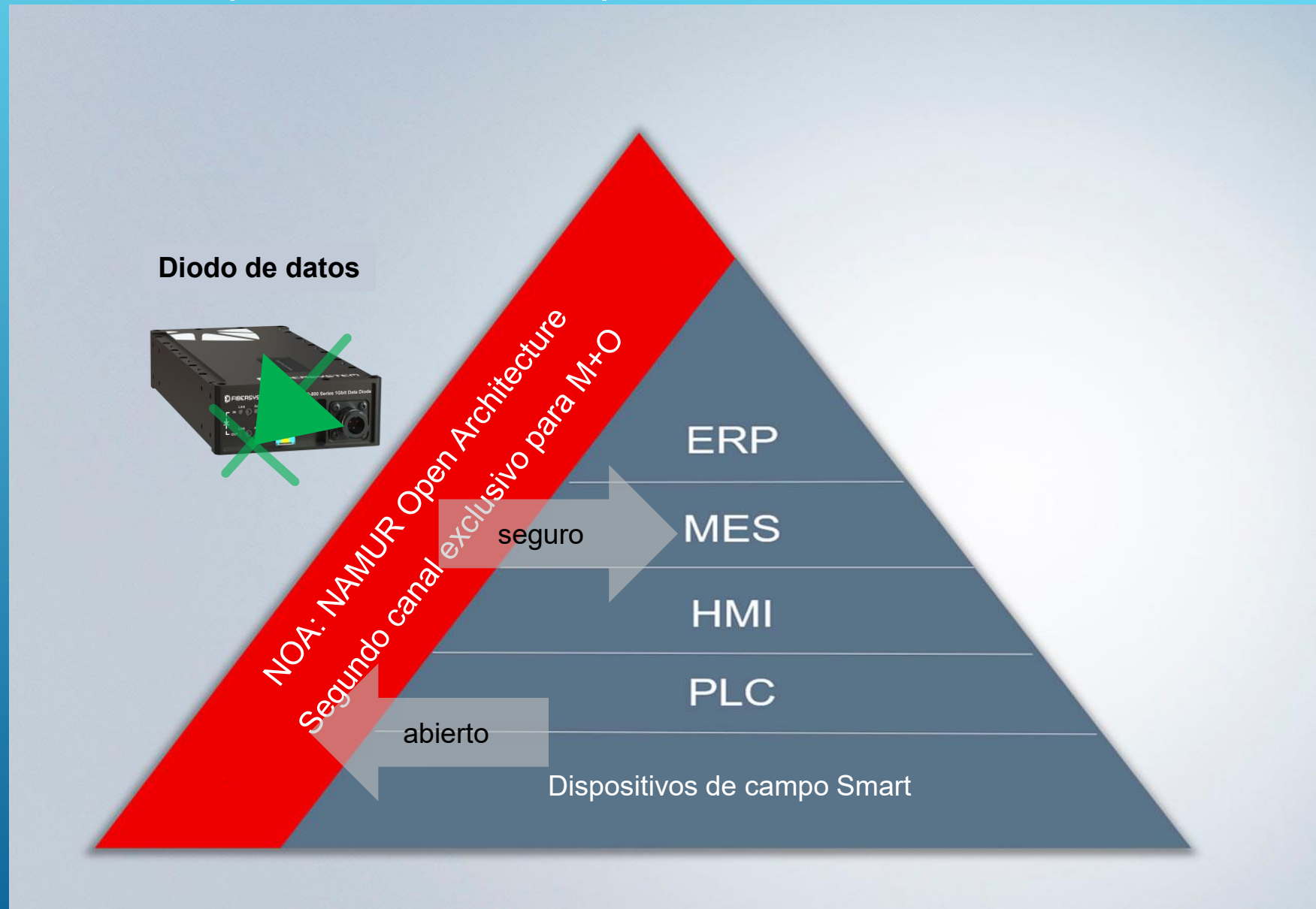
NAMUR NOA: Arquitectura Abierta para la Automatización de Procesos

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.

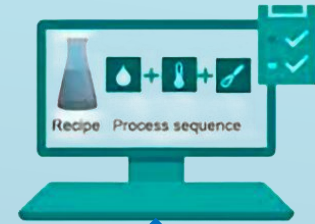
- Conceptos clave:
- Integración plug & play de unidades modulares (Package Units)
- Descripciones funcionales estandarizadas en formato MTP
- Generación automática de HMI y servicios de control
- Interoperabilidad entre PLCs, DCS y sistemas de ingeniería mediante OPC UA
- Se reemplaza el procedimiento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

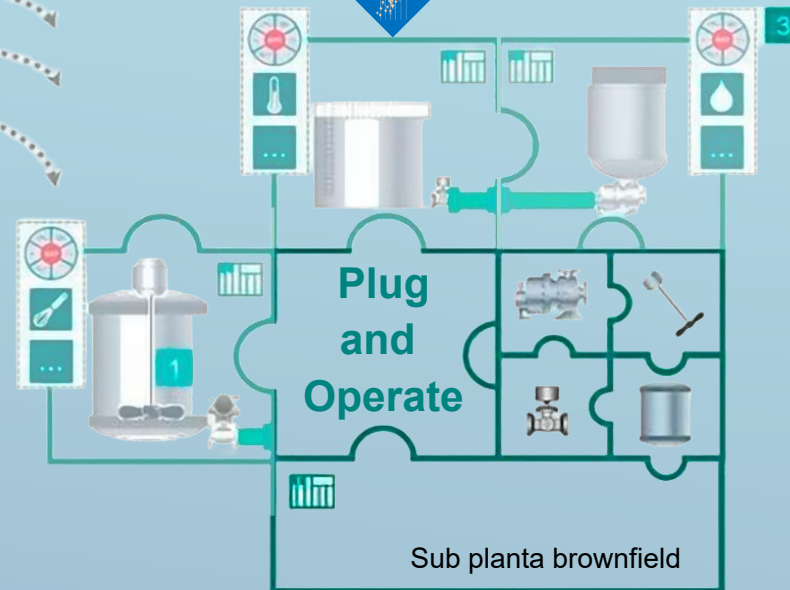
La planta modular está compuesta por conjuntos de equipos de proceso (**Process Equipment Assemblies o PEAs**)

PEAs



Capa de orquestación del proceso (**Process Orchestration Layer o POL**)

Conectividad



Planta modular

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.
- Coordina entre unidades modulares (especialmente en arquitecturas MTP/NAMUR).
- Garantiza el cumplimiento y la trazabilidad durante toda la operación, no solo en el inicio.



Ethernet-APL

SPE

NAMUR NOA

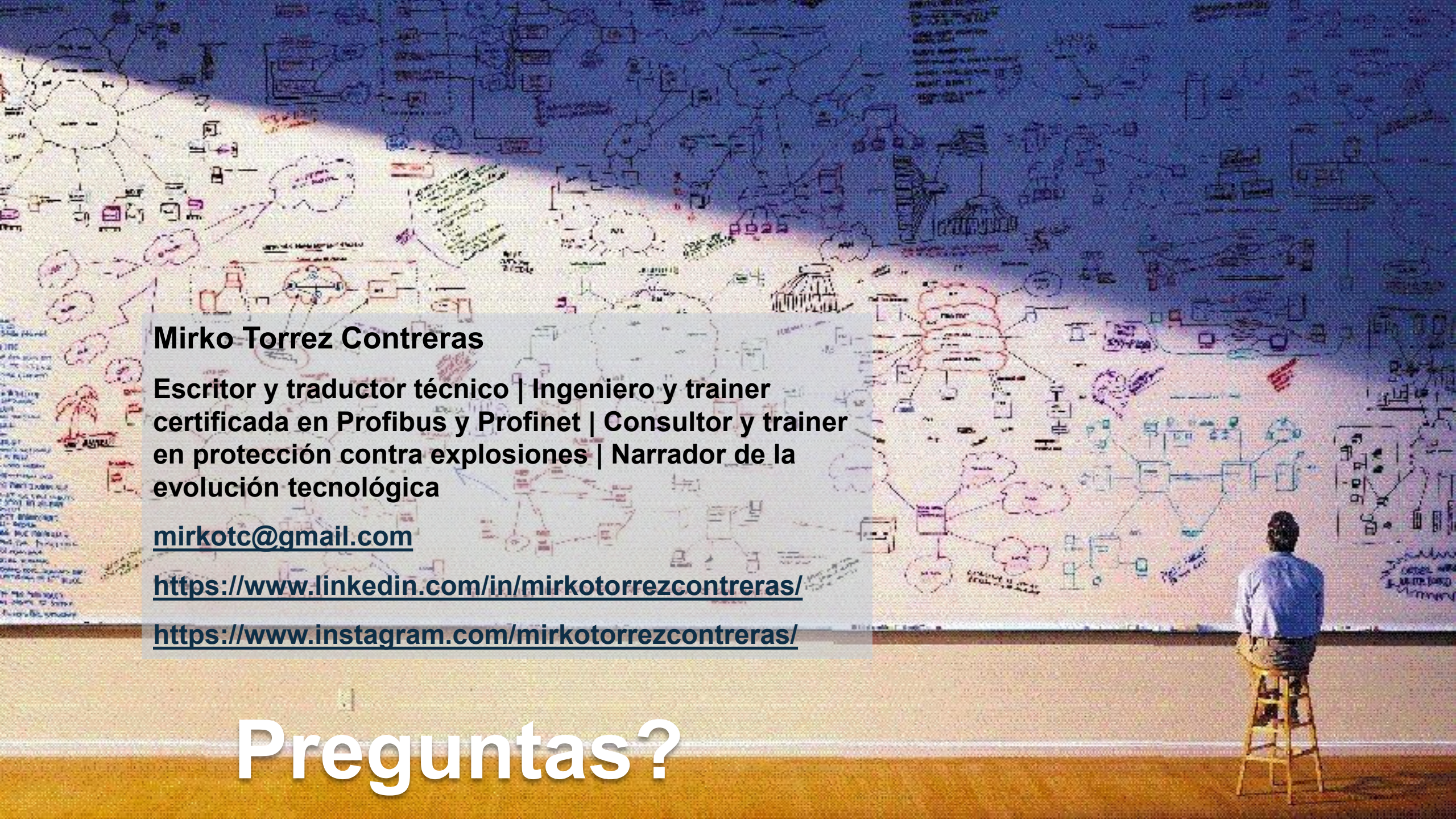
NAMUR MTP

El resultado de estas innovaciones es una nueva Ethernet Industrial, actualizada para permitir el proceso de digitalización y la plena adopción de los conceptos IIoT e Industry 4.0

OPC UA

PA-DIM

FDI

A person is seen from behind, sitting on a wooden stool and looking at a large wall covered in complex technical diagrams and sketches. The diagrams include various symbols, lines, and text, suggesting a technical or engineering context. The person is wearing a light blue shirt and dark pants. The wall is filled with numerous small diagrams and larger ones, some with handwritten notes. The overall scene is dimly lit, with the light from the diagrams illuminating the person's back.

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

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

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

Preguntas?