

ET4 Digital

ET4D



CURSO 1



Tecnologías Digitales para la Construcción y la Renovación



Cofinanciado por
la Unión Europea

Financiado por la Unión Europea. Las opiniones y puntos de vista expresados solo comprometen a su(s) autor(es) y no reflejan necesariamente los de la Unión Europea o los de la Agencia Ejecutiva Europea de Educación y Cultura (EACEA). Ni la Unión Europea ni la EACEA pueden ser considerados responsables de ellos.

Curso 1:

Tecnologías Digitales para la Construcción y la Renovación

**Tema 1: Obras inteligentes: aplicación del Internet
de las cosas (IoT) y los sensores en los procesos
de construcción**

**Tema 2: Realidad aumentada y realidad virtual para
una renovación más segura y eficiente**

Índice

Tema 1: Obras inteligentes: aplicación del Internet de las cosas (IoT) y los sensores en los procesos de construcción	5
Objetivos y resultados de aprendizaje y glosario	5
Objetivos de aprendizaje	5
Resultados de aprendizaje	5
Glosario	6
Introducción	7
2. Visión general de los conceptos del IoT	7
2.1 Conceptos fundamentales del IoT para la construcción	7
2.1 La capa de detección (los nervios)	8
2.2 La capa de red (la señal)	8
2.3 La capa de procesamiento de datos (el cerebro)	8
2.4 La capa de aplicación (la interfaz)	9
3. Beneficios principales para las obras de construcción	9
3.1 Mayor Seguridad (prioridad máxima)	9
3.2 Seguimiento en tiempo real de recursos y activos	9
3.3 Control de calidad y estado estructural	10
3.4 Eficiencia operativa y reducción de costes	10
4. Por qué es importante para la transición	10
5. Conclusión clave para las PYMES	10
6. Tipos de sensores: los sentidos de una obra inteligente	11
6.1 Sensores ambientales: supervisión de las condiciones del entorno	11
6.2 Sensores de estado estructural: supervisión del propio edificio	12
6.3 Monitorización de energía y recursos: reducción del desperdicio	13
6.4 Sensores de seguridad y EPI inteligentes: protección de la plantilla	14
7. Sistemas de recopilación de datos y monitorización en tiempo real	15
7.1 El puente de comunicación (de la señal a los datos)	15
7.2 El recorrido de un punto de datos (paso a paso)	16
7.3 Componentes clave de los sistemas de monitorización	16
7.4 Toma de decisiones en tiempo real: por qué la inmediatez es importante	16
7.5 La conexión del gemelo digital (breve introducción)	17
Caso práctico: Proyecto de renovación RINNO	17
Contexto del proyecto	17
Cómo los sensores del IoT apoyaron la renovación	17
Lecciones clave para las PYMES	18
Pasos prácticos para que las PYMES adopten tecnologías básicas de sensores	18
Paso 1: Identificar el punto débil (el porqué)	19
Paso 2: Elija la conectividad adecuada (el «cómo»)	19

Paso 3: Empezar con un kit de inicio	19
Paso 4: Utilizar una instalación sencilla y rápida (el enfoque «Slap and Track»)	20
Paso 5: Mejorar las competencias de la plantilla (mantener la sencillez)	20
Consideraciones éticas, de privacidad y de ciberseguridad	20
Ejercicios	21
Referencias	22
Tema 2: Realidad aumentada y realidad virtual para una renovación más segura y eficiente	23
Objetivos y resultados de aprendizaje y glosario	23
Objetivos de aprendizaje	23
Resultados de aprendizaje	23
Glosario	24
1. Introducción	25
1.1 La evolución de la comunicación en la obra	25
1.2 La brecha de confianza y la descarga cognitiva	25
1.3 Accesibilidad para las PYMES	25
2. El espectro de la realidad digital	26
2.1 Las dos modalidades principales de la realidad virtual	26
2.2 Mecanismo de acción: cómo la RA móvil «ve» la realidad	26
2.3 El panorama actual del <i>hardware</i> en las PYMES	27
3. Realidad Virtual para la formación en seguridad	27
4. Revisión del diseño y coordinación de la obra	29
4.1 El recorrido virtual (visualización virtual)	29
4.2 Supervisión remota «See-What-I-See» (SWIS)	29
4.3 El paradigma de la «Visión de rayos X» (detección de colisiones)	30
El retorno de la inversión y el caso de negocio	33
Retos de implementación para las PYMES	33
Casos prácticos	34
Caso práctico 1: El rediseño espacial iterativo (aplicación de RA)	34
Caso práctico 2: Síntesis del calendario de construcción en 4D (aplicación de RV)	35
Caso práctico 3: La revisión con realidad virtual (RV) tras el incidente	35
Ejercicios	37
Referencias	39

Tema 1: Obras inteligentes: aplicación del Internet de las cosas (IoT) y los sensores en los procesos de construcción

Objetivos y resultados de aprendizaje y glosario

Objetivos de aprendizaje

Esta sección presenta los conceptos básicos del IoT y explica los beneficios prácticos para las pequeñas y medianas empresas (pymes). El IoT en una obra de construcción puede entenderse a través de una arquitectura de cuatro capas. Para las pymes, el IoT ofrece mejoras prácticas más que una simple novedad, y su adopción no tiene por qué ser costosa ni compleja.

Resultados de aprendizaje

- ▶ Explicar la arquitectura de cuatro capas del IoT utilizada en las obras de construcción.
- ▶ Diferenciar las categorías de sensores y relacionarlas con los riesgos de seguridad, calidad y recursos.
- ▶ Seguir el recorrido de los datos desde el sensor hasta la pasarela, la nube y la alerta del panel de control.
- ▶ Demostrar cómo los gemelos digitales y el BIM mapean las transmisiones en tiempo real de los sensores para la gestión de instalaciones.
- ▶ Aplicar el caso práctico de RINNO para interpretar las pruebas y los resultados.
- ▶ Abordar las necesidades éticas y de seguridad en las implementaciones centradas en las personas trabajadoras.
- ▶ Utilizar el razonamiento del retorno de la inversión (ROI) para justificar la adopción y la ampliación en las pymes.

Glosario

IEQ (Calidad ambiental interior)	Abarca las condiciones de CO2, humedad, temperatura y calidad del aire.
IoT (Internet de las cosas)	Una red de sensores y dispositivos conectados que recopilan y comparten datos.
BIM (Modelado de Información de Construcción)	Uso de una representación digital compartida de un activo construido para facilitar los procesos de diseño, construcción y explotación, con el fin de constituir una base fiable para la toma de decisiones (ISO 19650:2019).
Gemelo digital	Un modelo BIM en tiempo real sincronizado con los datos de los sensores y el estado operativo.
LoRaWAN (Red de área amplia de largo alcance)	Red de área amplia de baja potencia para largo alcance y bajas velocidades de datos.
NB-IoT (Internet de las cosas de banda estrecha)	Conectividad celular de bajo consumo diseñada para una cobertura profunda en interiores.
Pasarela	Dispositivo periférico que agrega las señales de los sensores y reenvía los datos a la nube.
Geovalla	Límite virtual que activa alertas cuando se traspasa.
EPI (Equipo de Protección Individual)	Equipo de seguridad mejorado con sensores o conectividad.
Computación periférica	Procesamiento de datos cerca del sensor para reducir la latencia y el ancho de banda.
ROI (Retorno de la inversión)	Valor obtenido en comparación con el coste.
Madurez del hormigón	Relación entre la temperatura, el tiempo y el aumento de resistencia.
Actuator	Dispositivo que realiza una acción física basándose en los datos de un sensor.
Kit de inicio	Pasarela, pequeño conjunto de sensores y un panel de control preconfigurado para proyectos piloto rápidos.
RFID	Tecnología que utiliza campos electromagnéticos para identificar y rastrear etiquetas adheridas a objetos.
RINNO	Proyecto de renovación financiado por la UE en el marco de Horizonte 2020, centrado en la renovación energética profunda de edificios residenciales en toda Europa.
PYME (pequeña y mediana empresa)	Empresa con menos de 250 empleados, según la definición de la Comisión Europea.

Introducción

La integración del Internet de las cosas (IoT) sirve de puente fundamental entre la realidad física de una obra y la supervisión digital necesaria para la gestión moderna de proyectos. Mientras que los métodos tradicionales se basan en planos estáticos e informes manuales esporádicos, el IoT transforma estos procesos al proporcionar un reflejo dinámico y en tiempo real de las condiciones reales de la obra, convirtiendo de manera efectiva una operación «a ciegas» en un entorno transparente y basado en datos.

Este módulo explora cómo una arquitectura de cuatro capas —que comprende las capas de detección, red, procesamiento de datos y aplicaciones— permite a las pequeñas y medianas empresas (pymes) ir más allá de la simple novedad y lograr mejoras cuantificables en materia de seguridad, seguimiento de recursos y control de calidad. Mediante el despliegue de sensores resistentes para supervisar todo, desde la madurez del hormigón y el estado estructural hasta la fatiga de los trabajadores y el cumplimiento de las normas medioambientales, las empresas pueden reducir la incertidumbre que suele dar lugar a costosas repeticiones de trabajos y retrasos en los plazos.

Como se demuestra en el caso práctico de RINNO, el valor del IoT reside en su capacidad para diagnosticar riesgos ocultos de forma temprana, proteger a la plantilla mediante alertas automatizadas y proporcionar pruebas verificables del rendimiento. En última instancia, este módulo esboza una estrategia práctica de «empezar poco a poco», en la que las pymes pueden adoptar kits de inicio rentables y ampliar sus capacidades digitales basándose en un claro retorno de la inversión (ROI), garantizando que la transición a una obra «inteligente» sea tanto gestionable como económicamente sostenible.

2. Visión general de los conceptos del IoT

2.1 Conceptos fundamentales del IoT para la construcción

El IoT en una obra de construcción puede entenderse a través de una arquitectura de cuatro capas. Cada capa desempeña un papel distinto, desde la detección sobre el terreno hasta la toma de decisiones en la oficina. La figura 1 ofrece una visión general de cómo estas capas interactúan para crear un «cerebro» para la obra de construcción.

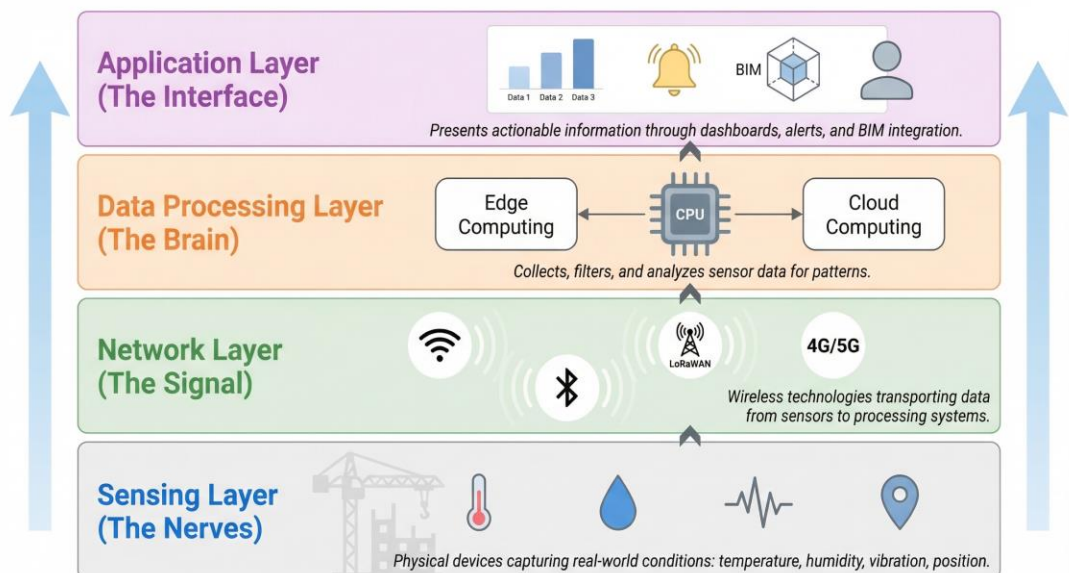


Figura 1: La arquitectura de IoT de cuatro capas, que va desde la detección física hasta la aplicación digital.

Fuente: Ilustración propia del autor, creada mediante generación de imágenes con IA (PaperBanana).

2.1 La capa de detección (los nervios)

La capa de detección incluye los dispositivos físicos que captan las condiciones del mundo real. Estos dispositivos suelen montarse en equipos, ser llevados por los trabajadores o integrarse en los materiales. Miden parámetros como la temperatura, la humedad, la vibración, la posición, el movimiento y la carga.

- ▶ Sensores de equipos: vibración, temperatura del motor, nivel de combustible y carga en grúas o excavadoras.
- ▶ Dispositivos portátiles para trabajadores/as: frecuencia cardíaca, indicadores de fatiga, seguimiento del movimiento y detección de caídas en cascos o chalecos.
- ▶ Sensores de materiales: sensores integrados en el hormigón que registran la temperatura de curado y el desarrollo de la resistencia.
- ▶ Actuadores: dispositivos que realizan acciones basadas en datos, como activar alarmas, apagar equipos o abrir rejillas de ventilación.
- ▶ Sensores ambientales: temperatura, humedad, polvo y ruido para el control del cumplimiento normativo y del confort.

En la construcción, los sensores deben ser resistentes, precisos y estar diseñados para entornos hostiles. La duración de la batería, la calibración y la ubicación de montaje son decisiones de diseño críticas, ya que afectan directamente a la fiabilidad y a la calidad de los datos.

2.2 La capa de red (la señal)

La capa de red transporta los datos desde los sensores hasta los sistemas de procesamiento. Las obras de construcción suelen tener diseños amplios y cambiantes, y una infraestructura fija limitada, por lo que las tecnologías inalámbricas son habituales.

- ▶ Wi-Fi: gran ancho de banda, adecuado para oficinas de obra y casetas temporales, pero con un alcance limitado en exteriores.
- ▶ Bluetooth y BLE: corto alcance, bajo consumo, ideal para el posicionamiento en interiores o dispositivos *wearables* (aparatos que se pueden llevar puestos como accesorios o ropa inteligente).
- ▶ LPWAN (p. ej., LoRaWAN): largo alcance, bajo consumo, adecuado para grandes obras al aire libre y redes de sensores dispersas.
- ▶ Celular (4G/5G): amplia cobertura y gran ancho de banda, pero mayor coste operativo.
- ▶ Redes en malla: los sensores se transmiten datos entre sí para ampliar la cobertura en diseños complejos.

La elección de la red depende del tamaño del emplazamiento, la disponibilidad de energía, el volumen de datos y el presupuesto. Es habitual un enfoque híbrido, como LoRaWAN para sensores de bajo volumen de datos y Wi-Fi para la monitorización de equipos de alto volumen de datos.

2.3 La capa de procesamiento de datos (el cerebro)

Esta capa recopila, filtra y analiza los datos. Los datos brutos de los sensores son ruidosos y continuos, por lo que es necesario procesarlos para detectar patrones significativos. Existen dos enfoques habituales:

- ▶ Computación en la nube: los datos se envían a servidores en la nube para su almacenamiento, análisis e integración con herramientas de planificación.
- ▶ Computación en el borde: los datos se procesan localmente en el dispositivo o en una pasarela cercana para reducir la latencia y el uso de ancho de banda.

El procesamiento en el borde es valioso para alertas de seguridad en las que el tiempo es un factor crítico, mientras

que el análisis en la nube resulta útil para el análisis de tendencias a largo plazo, la elaboración de informes y la planificación. En la construcción es habitual una configuración combinada de borde y nube.

2.4 La capa de aplicación (la interfaz)

La capa de aplicación presenta los datos a los usuarios y a otros sistemas. Esto puede incluir paneles de control, alertas móviles y actualizaciones en tiempo real dentro de un modelo de información de construcción (BIM). El objetivo es proporcionar información útil, no solo datos sin procesar.

- ▶ Paneles de control: muestran el estado de los equipos en tiempo real, la ubicación de los trabajadores y las condiciones de la obra.
- ▶ Alertas: notificaciones por SMS o a través de la aplicación sobre peligros, averías en los equipos o riesgos en la programación.
- ▶ Integración BIM: superpone datos de sensores en tiempo real sobre modelos digitales para la toma de decisiones visual.
- ▶ Informes: registros diarios automatizados y documentación de cumplimiento para auditorías.

Una interfaz bien diseñada hace hincapié en la claridad y la priorización, lo que garantiza que los jefes de obra puedan actuar con rapidez sin verse abrumados por el volumen de datos.

3. Beneficios principales para las obras de construcción

Para las pymes, el IoT ofrece mejoras prácticas más que simples novedades. Las ventajas más importantes coinciden con los puntos débiles habituales de la construcción: seguridad, seguimiento, control de calidad y eficiencia.

3.1 Mayor Seguridad (prioridad máxima)

La seguridad es el factor más crítico para la adopción del IoT. El IoT permite una supervisión continua y alertas rápidas, lo que reduce los incidentes y mejora el cumplimiento normativo.

- ▶ Geovallas digitales: zonas de seguridad virtuales alrededor de áreas peligrosas; los trabajadores reciben alertas al entrar en zonas restringidas.
- ▶ Monitorización mediante dispositivos *wearables*: los cascos o chalecos inteligentes pueden detectar caídas, fatiga o signos vitales anormales y notificarlo inmediatamente a los supervisores.
- ▶ Alertas de proximidad: los sensores de la maquinaria pesada avisan tanto a los operadores como a los peatones cercanos para evitar colisiones.
- ▶ Monitorización ambiental: los sensores de polvo, gas o ruido pueden activar alarmas antes de que las condiciones se vuelvan inseguras.

El resultado clave es un tiempo de respuesta más rápido y una menor dependencia de la supervisión manual. Esto resulta especialmente útil en obras con mucha actividad o con múltiples contratistas, donde la visibilidad es limitada.

3.2 Seguimiento en tiempo real de recursos y activos

Las obras de construcción suelen perder tiempo y dinero porque las herramientas, los materiales y los equipos se extravían o se infrutilizan. El IoT permite el seguimiento en tiempo real y la supervisión del uso.

- ▶ Seguimiento por GPS y RFID: localice activos de gran valor, como generadores, excavadoras o palés de material.
- ▶ Visibilidad del inventario: saber qué materiales hay en la obra y dónde están almacenados.
- ▶ Supervisión del uso: distinga entre el tiempo de motor en marcha y el uso productivo para reducir el desperdicio en el alquiler.
- ▶ Prevención de robos: alertas de movimiento o ubicación cuando los activos se desplazan fuera de las zonas

autorizadas.

Estas capacidades proporcionan a las pymes un mayor control sobre el flujo de caja y reducen los costosos retrasos causados por la falta de recursos.

3.3 Control de calidad y estado estructural

El IoT mejora la calidad al permitir una supervisión continua y oculta que la inspección tradicional no puede lograr.

- ▶ Sensores de curado del hormigón: miden la temperatura interna y el desarrollo de la resistencia para optimizar el momento de retirar el encofrado.
- ▶ Sensores de estado estructural: registran la vibración, la inclinación o la deformación en estructuras temporales como los andamios.
- ▶ Consistencia ambiental: supervisan la humedad y la temperatura para acabados que requieren condiciones estrictas (por ejemplo, revestimientos).

Mediante el uso de datos en tiempo real, los equipos de proyecto reducen las repeticiones de trabajo y evitan actividades prematuras o inseguras en la siguiente fase.

3.4 Eficiencia operativa y reducción de costes

El IoT automatiza la recopilación rutinaria de datos y permite obtener información predictiva, lo que mejora la productividad y reduce los costes.

- ▶ Informes automatizados: los registros de los sensores sustituyen a los informes diarios manuales, lo que ahorra tiempo de supervisión.
- ▶ Mantenimiento preventivo: las anomalías de vibración o temperatura predicen el fallo de los equipos antes de que se produzca la avería.
- ▶ Optimización de la programación: las actualizaciones de progreso en tiempo real revelan los retrasos de forma temprana, lo que permite la reasignación de mano de obra o equipos.
- ▶ Gestión energética: supervisar el consumo de combustible y el tiempo de inactividad para reducir el desperdicio.

Estas ventajas son especialmente valiosas para las pymes con equipos reducidos y una tolerancia limitada al tiempo de inactividad.

4. Por qué es importante para la transición

El IoT es el puente entre la obra física y el mundo digital. Sin el IoT, un modelo digital como el BIM es estático y solo describe el estado planificado. Con el IoT, el modelo se vuelve dinámico y refleja las condiciones reales de la obra en tiempo real. Esta transparencia reduce la incertidumbre y mejora la confianza en las decisiones basadas en datos.

5. Conclusión clave para las PYMES

La adopción del IoT no requiere automatizar toda la obra desde el primer día. Un enfoque práctico consiste en empezar con un único caso de uso de alto valor y ampliarlo en función del retorno de la inversión (ROI) medible.

- ▶ Empiece poco a poco: por ejemplo, realice un seguimiento de las herramientas de alto valor o supervise el curado del hormigón en un único proyecto.
- ▶ Mida el ROI: compare la reducción del tiempo de inactividad, la disminución de las pérdidas o la aceleración de los plazos con el coste del sistema.
- ▶ Amplíe gradualmente: expanda a más equipos, materiales o funciones de seguridad a medida que las

ventajas se hagan evidentes.

- Integre con los flujos de trabajo existentes: asegúrese de que los equipos de la obra puedan acceder fácilmente a los datos y actuar en consecuencia.

6. Tipos de sensores: los sentidos de una obra inteligente

Los sensores son los sentidos de una obra inteligente. Convierten las condiciones del mundo real en datos medibles para que los equipos de la obra puedan tomar decisiones rápidas y fundamentadas. En esta sección se explican las principales categorías de sensores utilizados en la construcción y por qué cada uno es importante, utilizando ejemplos sencillos que se relacionan directamente con el trabajo diario en la obra.

6.1 Sensores ambientales: supervisión de las condiciones del entorno

Los sensores ambientales registran las condiciones físicas del entorno de la obra. Ayudan a proteger la salud de los trabajadores y garantizan que el proyecto cumpla con la normativa local. La figura 2 ilustra una implementación típica de estos sensores y cómo activan respuestas automatizadas para mantener el cumplimiento normativo.

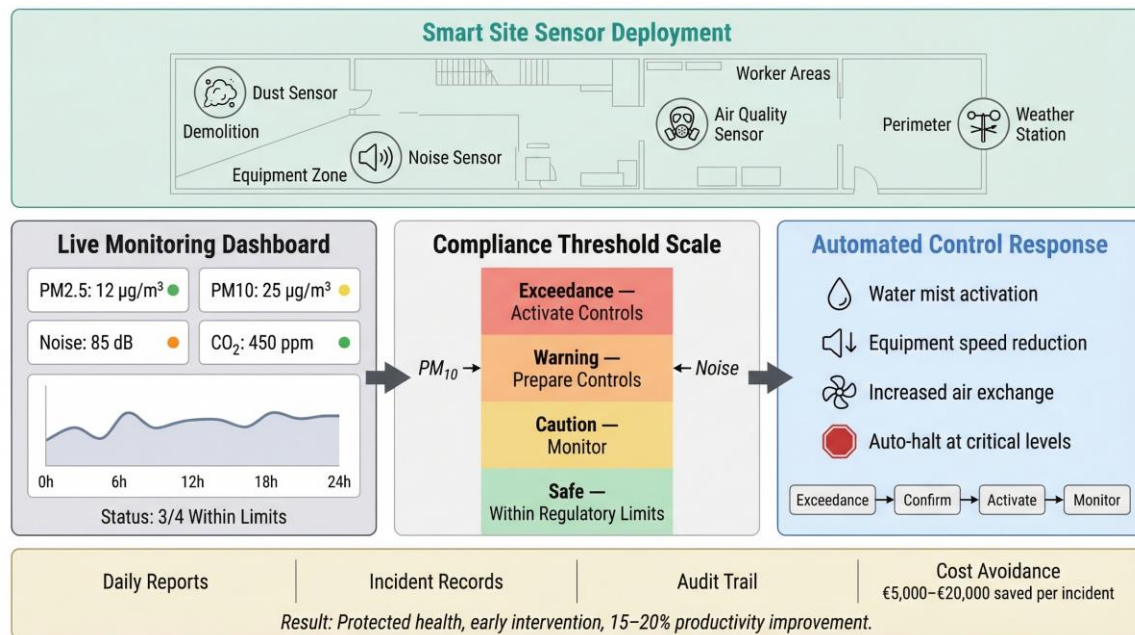


Figura 2: Implementación de sensores en una obra inteligente que muestra el ciclo desde la monitorización en tiempo real hasta la respuesta de control automatizada.

Fuente: Ilustración propia del autor, creada mediante generación de imágenes con IA (PaperBanana).

Sensores de polvo y calidad del aire (partículas en suspensión)

Las actividades de construcción, como el corte, la perforación y la demolición, liberan partículas finas de polvo, incluida la sílice. Estas partículas son peligrosas si se inhalan de forma prolongada. Los sensores de polvo miden la concentración de partículas en suspensión en el aire y la comunican en tiempo real.

Por qué es importante: cuando los niveles de polvo superan los umbrales de seguridad, el sistema puede alertar a los supervisores o activar automáticamente nebulizadores de agua para reducir las partículas en suspensión. Esto protege a los trabajadores y reduce el riesgo de incumplimientos normativos.

Sensores de ruido (medidores de decibelios)

Los sensores de ruido miden los niveles de sonido producidos por maquinaria pesada, herramientas de corte y tráfico de vehículos. En obras con mucha actividad, el ruido puede superar rápidamente los límites de seguridad, especialmente en zonas confinadas o reflectantes.

Por qué es importante: El sistema puede advertir a los trabajadores cuando se requiere protección auditiva y puede ayudar a los responsables a demostrar el cumplimiento de las ordenanzas locales sobre ruido.

Sensores de temperatura y humedad

Estos sensores registran las condiciones meteorológicas ambientales que afectan tanto a las personas como a los materiales. El calor y la humedad pueden alterar la velocidad de fraguado del hormigón, el secado de la pintura y la seguridad con la que los trabajadores pueden realizar tareas físicas.

Por qué es importante: Las altas temperaturas aumentan el riesgo de estrés térmico, mientras que una humedad elevada puede provocar que los revestimientos o acabados no se sequen correctamente. Las alertas tempranas permiten al equipo ajustar los horarios, aumentar los descansos o cambiar los materiales.

6.2 Sensores de estado estructural: supervisión del propio edificio

Los sensores de estado estructural miden cómo se comportan el edificio y las estructuras temporales bajo carga. A diferencia de las inspecciones visuales que se realizan ocasionalmente, estos sensores proporcionan datos continuos, a menudo desde el interior de los materiales o desde zonas de difícil acceso.

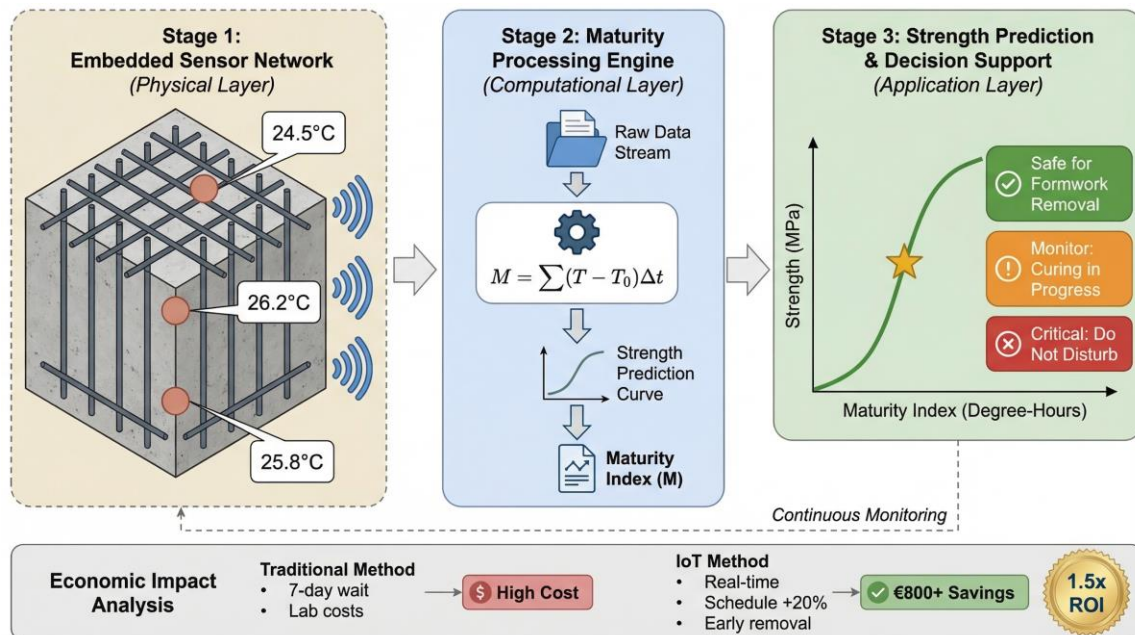
Ejemplo de colocación: un sensor de madurez del hormigón se integra en la losa con una sonda de temperatura y un pequeño registrador de datos, lo que permite realizar un seguimiento del aumento de resistencia sin necesidad de extraer muestras.

Sensores de madurez del hormigón (sensores térmicos)

Los sensores de madurez del hormigón son pequeñas sondas inalámbricas incrustadas en el hormigón húmedo. Miden la temperatura interna y el tiempo, lo que en conjunto indica cuánta resistencia ha ganado el hormigón. La figura 3 muestra el proceso de tres etapas de la monitorización de la madurez y el impacto económico resultante. El término «madurez» se refiere a la relación entre la temperatura, el tiempo y el aumento de resistencia, que a menudo se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$M = \sum (T - T_0) \Delta t$$

Por qué es importante: en lugar de esperar un número fijo de días para retirar el encofrado, el sensor indica el momento exacto en que el hormigón alcanza la resistencia objetivo. Esto permite acortar los plazos sin comprometer la seguridad.



* El símbolo de estrella en la etapa 3 indica el umbral de resistencia objetivo que desencadena la decisión de retirar el encofrado.

Figura 3: El ciclo de vida de la monitorización de la madurez del hormigón, desde los sensores integrados hasta el apoyo a la toma de decisiones en la capa de aplicación.

Fuente: Ilustración propia del autor, creada mediante generación de imágenes con IA (PaperBanana).

Sensores de deformación e inclinación

Los sensores de deformación miden cuánto se dobla una viga o un elemento estructural bajo carga. Los sensores de inclinación miden si una pared, una columna o un andamio se está inclinando fuera de su posición prevista.

Por qué es importante: Estos sensores son fundamentales para excavaciones profundas, estructuras temporales o proyectos de renovación cerca de edificios antiguos. Incluso unos pocos milímetros de movimiento pueden indicar un riesgo grave.

Sensores de vibración

Los sensores de vibración miden las sacudidas causadas por actividades como la hincia de pilotes, la perforación y el movimiento de vehículos pesados. Ayudan a cuantificar cuánta energía se transmite al suelo o a las estructuras cercanas.

Por qué es importante: Una vibración excesiva puede dañar los edificios vecinos o las instalaciones subterráneas. La monitorización mantiene el proyecto dentro de los límites legales y reduce los riesgos de responsabilidad civil para las pymes.

6.3 Monitorización de energía y recursos: reducción del desperdicio

Los sensores de energía y recursos registran la cantidad de electricidad, agua y combustible que consume la obra. Actúan como un sistema de contabilidad de los recursos de la obra y ayudan a identificar rápidamente el desperdicio.

Contadores inteligentes y transmisores de corriente

Los contadores inteligentes y los transmisores de corriente se acoplan a los cables eléctricos o se conectan a los cuadros de distribución. Miden la cantidad de energía que consumen áreas o equipos específicos.

Por qué es importante: Los datos revelan las llamadas «cargas vampiro», como los equipos que se dejan en funcionamiento durante la noche. Esto ayuda a reducir los costes energéticos sin mermar la productividad.

Sensores de caudal

Los sensores de caudal se instalan en tuberías o mangueras de agua para medir la cantidad de agua que circula por el sistema.

Por qué es importante: un aumento repentino del caudal puede indicar una fuga o la rotura de una tubería. La detección temprana previene los daños causados por el agua, limita el tiempo de inactividad y evita facturas elevadas de servicios públicos.

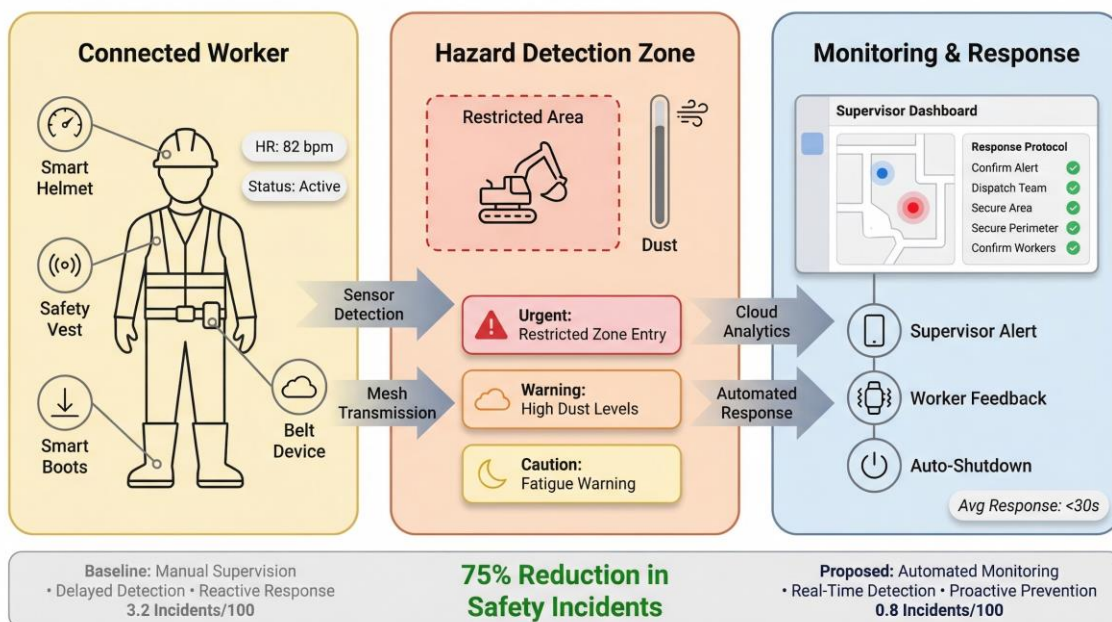
Sensores de nivel de combustible

Los sensores de nivel de combustible se colocan en los depósitos de combustible in situ o en la maquinaria pesada. Miden el combustible restante en tiempo real y pueden alertar de caídas rápidas.

Por qué es importante: evitan paradas inesperadas causadas por depósitos vacíos y ayudan a detectar robos de combustible. Esto garantiza que los equipos críticos sigan operativos cuando sea necesario.

6.4 Sensores de seguridad y EPI inteligentes: protección de la plantilla

Los sensores de seguridad y el equipo de protección individual (EPI) inteligente son las herramientas de IoT más críticas en las instalaciones. Amplían el equipo de seguridad tradicional con dispositivos electrónicos que detectan riesgos y activan alertas de inmediato. La figura 4 muestra cómo un trabajador conectado se integra en una zona de detección de peligros para lograr una reducción significativa de los incidentes de seguridad.



Nota: Los valores numéricos que aparecen en la ilustración son hipotéticos y se utilizan únicamente con fines explicativos.

Figura 4: La interacción entre un trabajador conectado, las zonas de detección de peligros y la supervisión del responsable.

Fuente: Ilustración propia del autor, creada mediante generación de imágenes con IA (PaperBanana).

Cascos inteligentes (acelerómetros)

Los cascos inteligentes utilizan acelerómetros para detectar cambios repentinos de velocidad o dirección. Estas señales pueden indicar una caída o un impacto.

Característica: Detección de caídas. Cuando se detecta una caída, el casco envía una alerta de emergencia con la ubicación del trabajador al supervisor. Esto acelera el tiempo de respuesta en situaciones críticas.

Chalecos de seguridad conectados (RFID o Bluetooth)

Los chalecos conectados incluyen etiquetas RFID o Bluetooth que se comunican con balizas de la obra o sensores de los equipos.

Característica: Alertas de proximidad. Si un trabajador entra en una zona prohibida o se acerca demasiado a un equipo en movimiento, el chaleco vibra o emite un pitido para advertirle. Esto reduce el riesgo de colisión.

Botas inteligentes (sensores de presión)

Las botas inteligentes pueden incluir sensores de presión que miden la distribución del peso y el movimiento.

Por qué es importante: Los patrones de presión anormales pueden indicar que un trabajador está cargando con un peso excesivo o que ha permanecido inmóvil durante demasiado tiempo, lo que puede ser señal de un problema médico.

Detectores de gas portátiles

Los detectores de gas portátiles se enganchan a la ropa y analizan continuamente el aire en busca de gases peligrosos, como monóxido de carbono o vapores explosivos. Son esenciales en espacios confinados como sótanos, túneles o pozos de registro.

Por qué es importante: La detección temprana previene lesiones graves o muertes. Las alertas permiten a los equipos evacuar o ventilar antes de que las condiciones se vuelvan peligrosas.

7. Sistemas de recopilación de datos y monitorización en tiempo real

Para muchas pymes, el mayor reto no es comprar un sensor. Es convertir las lecturas de los sensores en información clara y útil en una pantalla. Este proceso se denomina integración de datos. Un buen sistema de monitorización conecta sensores, redes y paneles de control para que los equipos in situ puedan detectar los problemas a tiempo y actuar con rapidez.

7.1 El puente de comunicación (de la señal a los datos)

Entre la detección y la monitorización, las señales sin procesar se acondicionan, empaquetan y transmiten como paquetes de datos digitales que los paneles de control pueden interpretar.

- ▶ Acondicionamiento de la señal: los filtros eliminan el ruido y calibran la salida bruta del sensor para que las lecturas sean estables y comparables.
- ▶ Empaquetado: las mediciones se marcan con la fecha y la hora y se formatean en pequeños paquetes que contienen el ID del sensor, la ubicación y la unidad.
- ▶ Transmisión: las pasarelas reenvían los paquetes a servicios en la nube o paneles de control locales utilizando LoRaWAN, NB-IoT, Wi-Fi o enlaces por cable.

- ▶ Validación: la lógica de borde detecta los valores atípicos para que las falsas alarmas no saturen al equipo.

7.2 El recorrido de un punto de datos (paso a paso)

Para comprender la monitorización en tiempo real, siga el recorrido de un punto de datos, como una alerta de alta temperatura procedente de un sensor integrado en el hormigón.

- ▶ Captura (el sensor): La sonda integrada mide la temperatura en el interior del hormigón.
- ▶ Transmisión (la pasarela): El sensor envía una señal de corto alcance (Bluetooth o LoRaWAN) a una pasarela in situ.
- ▶ Ingestión (la nube): La pasarela reenvía los datos a través de Wi-Fi o 4G/5G a un servidor en la nube seguro.
- ▶ Visualización (el panel de control): La lectura aparece como una alerta de color o un gráfico de tendencias en el dispositivo del gestor.
- ▶ Cada paso debe funcionar de forma fiable, o las alertas críticas se retrasarán. Por eso es importante contar con equipos resistentes y una conectividad estable en las obras de construcción.

7.3 Componentes clave de los sistemas de monitorización

La pasarela (el centro de la obra)

El Wi-Fi doméstico estándar no es suficiente para una obra grande y cambiante. Una pasarela es una caja resistente e impermeable que recopila datos de muchos sensores y los envía a la nube.

Por qué es importante: La pasarela puede comunicarse con cientos de dispositivos a la vez y almacenar datos temporalmente si se cae la conexión a Internet. Este almacenamiento temporal garantiza que no se pierdan datos de seguridad o de calidad.

Paneles de control en tiempo real (la sala de control)

Los paneles de control son la interfaz principal para los equipos de la instalación. Para las pymes, los mejores paneles de control son sencillos y visuales, y suelen utilizar un sistema de semáforos.

- ▶ Verde: las condiciones se encuentran dentro de los límites de seguridad y legales.
- ▶ Amarillo: Se está acercando un umbral, como que el hormigón alcance el 90 % de la resistencia prevista.
- ▶ Rojo: Se requiere una acción inmediata, como la caída de un trabajador o una fuga de agua.

Un panel de control claro reduce la confusión y garantiza que la persona adecuada responda rápidamente.

Computación en el borde (procesamiento en el origen)

La computación en el borde significa que el dispositivo o la pasarela analiza los datos localmente antes de enviarlos a la nube. Esto reduce el uso del ancho de banda y mejora el tiempo de respuesta.

Ejemplo: Una cámara de seguridad utiliza IA para detectar si un trabajador lleva casco. Solo envía una alerta cuando se produce una infracción, en lugar de subir horas de vídeo.

7.4 Toma de decisiones en tiempo real: por qué la inmediatez es importante

La supervisión en tiempo real convierte los datos en decisiones rápidas. Esta es la diferencia entre la construcción inteligente y la elaboración de informes tradicional.

- ▶ Mantenimiento predictivo: si el motor de una grúa vibra más de lo normal, el sistema avisa al equipo de mantenimiento antes de que se produzca una avería.
- ▶ Programación dinámica: si empieza a llover intensamente, el sistema puede retrasar las entregas de hormigón para evitar el desperdicio.
- ▶ Geovallas de zona segura: cuando un trabajador entra en el radio de giro de una grúa, un dispositivo portátil

recibe la señal de límite, vibra inmediatamente y notifica al supervisor.

- ▶ Cumplimiento normativo automatizado: se pueden generar automáticamente informes de ruido y polvo para las autoridades reguladoras o los clientes.

Estas acciones reducen el tiempo de inactividad, evitan la repetición de trabajos y protegen tanto a las personas trabajadoras como a los presupuestos.

7.5 La conexión del gemelo digital (breve introducción)

En proyectos avanzados, los datos en tiempo real se conectan a un gemelo digital, un modelo BIM en 3D que se actualiza a medida que cambian las condiciones. Los dispositivos IoT transmiten lecturas que se fijan a espacios BIM, de modo que el gestor de la instalación puede ver dónde se producen los riesgos, y no solo que existen.

Ejemplo: un sensor de madurez del hormigón asignado al Nivel 2 muestra un 68 % de resistencia, mientras que un sensor de vibraciones en el núcleo de servicios supera el umbral. El modelo resalta ambas ubicaciones para una inspección rápida.

Medidas de gestión de la instalación: retrasar la retirada del encofrado, inspeccionar las paredes adyacentes y ajustar los puntos de consigna del sistema de climatización basándose en la información en tiempo real. Al conectar los datos del IoT en tiempo real al modelo BIM, los gestores de instalaciones obtienen una visión espacial en tiempo real de los riesgos y las condiciones de la obra. Esta integración reduce las comprobaciones manuales, facilita la toma de decisiones más rápida y mejora la entrega, ya que el propietario recibe un modelo dinámico, no un plano estático.

Caso práctico: Proyecto de renovación RINNO

Contexto del proyecto

- ▶ Ubicación: Varias obras en Europa, incluyendo Dinamarca, Polonia y Grecia.
- ▶ Tipo de edificio: Apartamentos residenciales antiguos con métodos de construcción mixtos y sistemas heredados.
- ▶ Reto: Renovación profunda de edificios antiguos con condiciones desconocidas en paredes, cimientos y servicios.
- ▶ Objetivo: Reducir el tiempo de renovación en aproximadamente un 30 % y recortar significativamente los costes energéticos.

La renovación de edificios antiguos es más arriesgada que la construcción nueva, ya que muchos problemas están ocultos. La humedad, los elementos estructurales débiles y los sistemas de calefacción ineficientes a menudo solo se hacen visibles una vez iniciadas las obras. Se utilizó el IoT para detectar estos problemas antes y para orientar la toma de decisiones más seguras durante la demolición y la rehabilitación.

Cómo los sensores del IoT apoyaron la renovación

Fase 1: La fase de investigación (sensores ambientales y de calidad ambiental interior)

Antes de que comenzara la construcción, el equipo instaló sensores de calidad ambiental interior (IEQ) en apartamentos seleccionados durante varias semanas. Estos sensores registraron las condiciones de referencia para que el plan de renovación pudiera abordar las causas fundamentales, y no solo los síntomas superficiales.

- ▶ Qué se midió: concentración de CO₂, humedad y temperatura.
- ▶ Conclusión clave: los apartamentos de esquina presentaban una humedad superior al 70 % durante largos periodos, lo que indicaba una acumulación de humedad.
- ▶ Diagnóstico: Los datos sugerían un fallo en el sistema de aislamiento exterior, más que una simple condensación interna.

- ▶ Resultado: En lugar de reparar las paredes interiores, la PYME corrigió el aislamiento exterior y la vía de ventilación. Esto evitó que el moho reapareciera tras la renovación y protegió los acabados, como la pintura nueva y las placas de yeso.

Fase 2: La fase de protección de la seguridad (sensores estructurales y de vibración)

Durante los trabajos de demolición y estructurales, se colocaron sensores de vibración e inclinación en las paredes de carga y en las zonas frágiles. Esto permitió al equipo detectar inmediatamente cualquier movimiento peligroso.

- ▶ Un sensor de vibración activó una alerta roja durante la retirada del suelo antiguo.
- ▶ Acción: Se detuvieron los trabajos y se inició inmediatamente una inspección in situ.
- ▶ Descubrimiento: La vibración estaba aflojando una antigua chimenea que no figuraba en los planos originales del edificio.
- ▶ Resultado: La detección temprana evitó un posible derrumbe, evitó lesiones a las personas trabajadoras y redujo los costes de reparación estructural. Para una pyme, esto también significó evitar retrasos, reclamaciones y daños a la reputación.

Fase 3: La fase del contable (monitorización energética)

Para demostrar el impacto de la renovación, los contadores inteligentes de energía registraron el consumo de electricidad y calefacción antes y después de la rehabilitación. Esto permitió elaborar informes basados en datos para la persona propietaria del edificio.

- ▶ Informe de antes y después: El panel de control del IoT mostró una reducción significativa del desperdicio de energía.
- ▶ Resultado medido: La monitorización energética basada en el IoT confirmó una reducción del coste de la electricidad de al menos un 30 % tras las mejoras en el aislamiento y el control de la climatización, al tiempo que permitió una reducción del tiempo de aproximadamente un 40 % en comparación con los enfoques de renovación habituales (Proyecto RINNO).
- ▶ Valor: La PYME pudo ofrecer una garantía de rendimiento respaldada por datos.
- ▶ Resultado: Los datos ayudaron a la pyme a demostrar un ahorro real, ganarse la confianza de la clientela y competir por nuevos proyectos.

Lecciones clave para las PYMES

- ▶ Empiece por el diagnóstico: los datos de referencia revelan las causas fundamentales antes de comenzar el trabajo.
- ▶ Proteja a las personas trabajadoras con alertas en tiempo real: los sensores estructurales reducen el riesgo durante la demolición.
- ▶ Utilice pruebas, no promesas: los datos energéticos generan credibilidad y respaldan las garantías de rendimiento.
- ▶ Adapta el IoT a las fases del proyecto: los diferentes sensores aportan valor en distintas fases de la renovación.

Este caso demuestra que el IoT no es solo para grandes contratistas. Cuando se utiliza en fases específicas, ayuda a las pymes a realizar renovaciones más seguras, reducir las repeticiones de trabajo y documentar resultados cuantificables.

Pasos prácticos para que las PYMES adopten tecnologías básicas de sensores

La adopción del IoT no tiene por qué ser cara ni compleja. Las pymes más exitosas comienzan con un pequeño proyecto piloto, demuestran rápidamente su valor y se expanden solo cuando el retorno de la inversión es claro. Los

pasos que se indican a continuación ofrecen una guía práctica que se alinea con los capítulos anteriores sobre sensores, flujo de datos y monitorización en tiempo real.

Paso 1: Identificar el punto débil (el porqué)

Antes de adquirir cualquier *hardware*, una pyme debe identificar la mayor fuente de pérdidas o riesgos en sus proyectos. Las pymes suelen dudar porque los beneficios no les parecen claros, por lo que el primer caso de uso debe generar ahorros visibles o mejoras en la seguridad en cuestión de semanas.

Utilice una sencilla comprobación del retorno de la inversión (por ejemplo, la pérdida de herramientas al mes frente al coste del kit de inicio) para demostrar la rentabilidad y reducir la incertidumbre.

- ▶ Escenario A: La pérdida o el robo de herramientas es habitual. Empezar con el seguimiento de activos mediante etiquetas RFID o GPS.
- ▶ Escenario B: El trabajo con hormigón predomina en el calendario. Empezar con sensores de madurez del hormigón.
- ▶ Escenario C: Los proyectos se desarrollan en zonas urbanas densas con normas estrictas. Empezar por la monitorización del ruido y el polvo.
- ▶ Escenario D: Averías frecuentes de los equipos. Empezar por la monitorización de las vibraciones o la temperatura del motor.

Un punto débil claro ayuda a justificar la inversión y facilita la medición de los resultados.

Paso 2: Elija la conectividad adecuada (el «cómo»)

La conectividad es la forma en que los datos de los sensores viajan desde la obra hasta el panel de control. Las obras de construcción suelen carecer de una buena conexión Wi-Fi, por lo que las pymes deben seleccionar una red que funcione de forma fiable con una configuración mínima.

- ▶ LoRaWAN: Largo alcance y bajo consumo. Las señales atraviesan el hormigón y cubren grandes obras. Las baterías pueden durar años.
- ▶ NB-IoT / LTE-M: utiliza redes móviles existentes para paquetes de datos pequeños. Fácil de implementar con un equipo mínimo.
- ▶ Wi-Fi: útil cerca de oficinas o casetas de obra, pero con un alcance limitado y requiere una fuente de alimentación estable.
- ▶ Ejemplo regional (Estonia): la infraestructura digital avanzada y la amplia cobertura de NB-IoT permiten implementaciones «plug-and-play», mientras que LoRaWAN funciona bien en obras remotas o con gran cantidad de estructuras de acero.

Para la mayoría de las pymes, LoRaWAN o NB-IoT ofrecen el mejor equilibrio entre cobertura, coste y simplicidad.

Paso 3: Empezar con un kit de inicio

Muchos proveedores ofrecen kits de inicio listos para usar que incluyen una pasarela, un pequeño conjunto de sensores y un panel de control preconfigurado. Estos kits permiten a un equipo probar el IoT en cuestión de días en lugar de meses.

- ▶ Contenido típico del kit: 1 pasarela, 5-10 sensores y un panel de control web básico.
- ▶ Tipos de sensores habituales: temperatura, humedad, movimiento y etiquetas de activos sencillas.
- ▶ Rango de precios típico: entre 250 y 500 euros para kits básicos de iniciación, dependiendo de la región y el proveedor.

Un kit de inicio reduce el riesgo porque ofrece visibilidad inmediata sin necesidad de integración personalizada. También proporciona un aprendizaje práctico para el equipo. A la hora de buscar kits de inicio de IoT adecuados para la construcción, algunos términos de búsqueda útiles son «kit de inicio de IoT para la construcción», «kit de

sensores LoRaWAN para edificios» o «paquete de sensores de monitorización de obras». Algunos ejemplos de proveedores que ofrecen kits de inicio son: Monnit (<https://www.monnit.com>), Elsys (<https://www.elsys.se>) y Dragino (<https://www.dragino.com>).

Paso 4: Utilizar una instalación sencilla y rápida (el enfoque «Slap and Track»)

Los sensores modernos están diseñados para una instalación rápida. Son inalámbricos, funcionan con pilas y se fijan con imanes o adhesivos, lo que los hace ideales para entornos de construcción temporales y cambiantes.

- ▶ Configuración inalámbrica: no requiere cableado ni trabajos eléctricos.
- ▶ Soportes magnéticos o adhesivos: los sensores se pueden fijar a equipos, paredes o contenedores en cuestión de minutos.
- ▶ Larga duración de la batería: muchos sensores funcionan entre 5 y 10 años, lo que permite un enfoque de «instalar y olvidarse».
- ▶ Reubicación: los dispositivos se pueden mover fácilmente a medida que avanza el proyecto.

Esta facilidad de implementación es fundamental para las pymes, ya que minimiza las interrupciones y evita la contratación de especialistas adicionales.

Paso 5: Mejorar las competencias de la plantilla (mantener la sencillez)

La adopción del IoT tiene éxito cuando los equipos in situ comprenden la finalidad de los sensores. La formación no tiene por qué ser compleja, pero debe generar confianza y claridad.

- ▶ Charla informativa: una sesión de 15 minutos en la que se explique qué se está midiendo y por qué mejora la seguridad y la eficiencia.
- ▶ Abordar las preocupaciones sobre la privacidad: hacer hincapié en que el objetivo es la reducción de riesgos, no el control del rendimiento personal.
- ▶ Responsable designado del IoT: Asigne a una persona, como un capataz junior, la tarea de revisar el panel de control a diario y señalar las anomalías.

Cuando las personas trabajadoras comprenden el valor, es más probable que apoyen el sistema y actúen rápidamente ante las alertas.

Consideraciones éticas, de privacidad y de ciberseguridad

- ▶ Privacidad de los datos: anonimice los datos de ubicación de las personas trabajadoras utilizando vistas a nivel de zona, identificadores rotativos y ventanas de retención cortas. El objetivo son los resultados de seguridad, no el exceso de control.
- ▶ Propiedad de los datos: aclare en los contratos que los datos recopilados in situ pertenecen al contratista o a la PYME, no al proveedor de sensores.
- ▶ Ciberseguridad: proteja la pasarela con credenciales únicas, enlaces cifrados, actualizaciones periódicas y segmentación de la red para reducir los riesgos de piratería.

Ejercicios

Elija la mejor respuesta para cada pregunta. La clave de respuestas se encuentra al final de esta sección.

1. ¿Qué capa del IoT se encarga de convertir las lecturas brutas de los sensores en alertas o paneles de control?

- A) Capa de detección
- B) Capa de red
- C) Capas de procesamiento de datos y aplicaciones
- D) Capa de gestión de la energía

2. ¿Qué tecnología inalámbrica es la más adecuada para sensores de largo alcance y bajo consumo en grandes emplazamientos al aire libre?

- A) LoRaWAN
- B) Bluetooth Clásico
- C) NFC
- D) Zigbee

3. ¿Cuál es la función principal de una puerta de acceso en una obra?

- A) Impartir formación a las personas trabajadoras
- B) Traducir y enviar los datos de los sensores a la nube
- C) Almacenar archivos BIM para los equipos de diseño
- D) Sustituir todos los sensores por cámaras

4. ¿Qué tipo de sensor es el más adecuado para detectar cuándo el hormigón está listo para retirar el encofrado?

- A) Detector de gas
- B) Sensor de madurez del hormigón (térmico)
- C) Sonómetro
- D) Etiqueta RFID

5. En un panel de control con semáforos, un estado amarillo suele significar:

- A) Se requiere una acción inmediata
- B) Sistema fuera de línea
- C) Se está alcanzando un umbral
- D) Faltan datos

6. ¿Cuál es la mejor opción para una primera prueba piloto en una pyme que sufre pérdidas frecuentes de herramientas?

- A) Implantación de EPI inteligentes
- B) Seguimiento de activos mediante RFID o GPS
- C) Implementación de gemelos digitales
- D) Análisis de video con IA

7. ¿Cuál es la principal ventaja de la computación periférica en una obra?

- A) Elimina la necesidad de sensores
- B) Reduce el ancho de banda y mejora el tiempo de respuesta

- C) Garantiza un tiempo de actividad de la red del 100%
- D) Sustituye al almacenamiento en la nube

8. ¿Qué sensor detectaría mejor un andamio inclinado antes de que se produzca un fallo?

- A) Sensor de inclinación
- B) Sensor de temperatura
- C) Sensor de flujo
- D) Sensor de CO2

9. ¿Cuál es el principal riesgo de confiar únicamente en comprobaciones de seguridad manuales sin el IoT?

- A) Mayor duración de la batería
- B) Ciclos de notificación más rápidos
- C) Detección tardía de peligros
- D) Menores requisitos de cumplimiento

10. ¿Qué tipo de sensor es el más adecuado para monitorizar los impactos de las vibraciones en los edificios adyacentes?

- A) Sensores de vibraciones
- B) Sensor de humedad
- C) Sensor de luz
- D) Etiqueta RFID

Respuestas

1) C 2) A 3) B 4) B 5) C 6) B 7) B 8) A 9) C 10)

10. Referencias

LoRa Alliance. LoRaWAN Specification. <https://loro-alliance.org/resource-hub/lorawan-specification/>
3GPP. NB-IoT and LTE-M Overview. <https://www.3gpp.org/>
European Commission CORDIS. RINNO Project (H2020). <https://cordis.europa.eu/>
ISO 20414:2019. Building information modelling (BIM). <https://www.iso.org/standard/68078.html>
OSHA. Respirable Crystalline Silica in Construction. <https://www.osha.gov/silica-crystalline>
WHO. Environmental noise guidelines for the European Region. <https://www.who.int/europe/publications/i/item/9789289053563>

Tema 2: Realidad aumentada y realidad virtual para una renovación más segura y eficiente

Objetivos y resultados de aprendizaje y glosario

Objetivos de aprendizaje

Este módulo tiene como objetivo dotar a las pequeñas y medianas empresas (pymes) y docentes de la educación y formación profesional (EFP) del marco operativo necesario para implementar tecnologías de realidad aumentada (RA) y realidad virtual (RV) en entornos de renovación.

Los objetivos principales de este módulo son:

- **Proporcionar un marco práctico** para que las pymes y los formadores y las formadoras de FP comprendan y adopten las tecnologías inmersivas.
- **Demostrar el valor práctico** de estas herramientas a la hora de facilitar la transición de los planos arquitectónicos tradicionales a datos espaciales 3D precisos en la obra.
- **Reducir la brecha de competencias digitales** presentando soluciones tecnológicas inmersivas accesibles y de bajo coste, adaptadas a los flujos de trabajo de renovación.

Resultados de aprendizaje

Al completar con éxito este módulo, el alumnado alcanzará los siguientes resultados fundamentales:

1. Distinguir entre las modalidades de RA y RV, lo que permitirá seleccionar las tecnologías adecuadas en función de las restricciones de seguridad y los requisitos operativos específicos de cada obra.
2. **Explicar los mecanismos cognitivos** a través de los cuales la formación en seguridad mediante RV logra altas tasas de retención de conocimientos, específicamente en lo que respecta a la identificación de materiales peligrosos.
3. **Implementar metodologías de RA**, como *See-What-I-See* (SWIS) y *X-Ray Vision*, para la coordinación remota de obras y la detección preventiva de conflictos.
4. **Calcular el retorno de la inversión (ROI)** de las tecnologías inmersivas basándose en modelos empíricos de reducción de reelaboraciones y optimización de plazos.
5. **Identificar y mitigar los principales retos de implementación** para las pymes, incluyendo la durabilidad del *hardware*, las limitaciones de iluminación ambiental y el coste total de propiedad (TCO).

Glosario

RA (Realidad Aumentada)	La superposición en tiempo real de información digital sobre la visión que tiene el usuario del entorno físico, conservando la percepción espacial y periférica.
RV (Realidad Virtual)	Un entorno digital totalmente sintético que oculta por completo el mundo físico, al que normalmente se accede a través de un visor (HMD).
RM (Realidad Mixta)	Una versión avanzada de la RA en la que los objetos digitales poseen permanencia espacial y se anclan de forma interactiva a superficies físicas.
XR (Realidad Extendida)	Término genérico que engloba las tecnologías de RA, RV y RM.
Gemelo digital	Réplica virtual dinámica y actualizada computacionalmente de un activo físico o un sistema de construcción
HMD (visor montado en la cabeza)	Dispositivos ópticos portátiles que proporcionan al usuario una experiencia visual inmersiva.
SLAM (localización y mapeo simultáneos)	El algoritmo básico de visión artificial que permite a los dispositivos móviles determinar de forma autónoma su posición y orientación dentro de un espacio físico no cartografiado.
SWIS (See-What-I-See)	Un paradigma de asistencia remota que permite a expertos externos ver las imágenes en directo de la cámara de un trabajador y superponer anotaciones digitales ancladas espacialmente.
TCO (coste total de propiedad)	El modelo financiero integral de la implementación de una tecnología, que abarca la adquisición inicial de <i>hardware</i> , las suscripciones recurrentes de <i>software</i> y los gastos de mantenimiento.

1. Introducción

La renovación de estructuras existentes plantea retos únicos que, en esencia, no se dan en la construcción nueva, debido principalmente a la necesidad de integrar diseños modernos en edificios imperfectos y envejecidos. En la construcción nueva, los constructores trabajan sobre un «lienzo en blanco» en el que los modelos digitales coinciden perfectamente con el terreno excavado. En la renovación, la estructura existente — con muros de carga no documentados, cimientos asentados y sistemas mecánicos asimétricos — rara vez se ajusta perfectamente a los modelos arquitectónicos originales.

1.1 La evolución de la comunicación en la obra

Para comprender el potencial transformador de las tecnologías inmersivas, resulta instructivo repasar brevemente la evolución histórica de la comunicación en la obra. Durante siglos, el sector de la construcción se basó exclusivamente en planos bidimensionales dibujados a mano para comunicar la intención del diseño. Este paradigma suponía una carga cognitiva significativa para el constructor, que debía traducir mentalmente las líneas planas del papel a una realidad física compleja y multidimensional.

La llegada del diseño asistido por ordenador (CAD) a finales del siglo XX digitalizó este proceso, pero conservó en gran medida el paradigma bidimensional. No fue hasta la adopción generalizada del modelado de información de la construcción (BIM) cuando el sector pasó a una verdadera representación 3D paramétrica, en la que los elementos digitales contenían datos funcionales y estructurales específicos (Sacks et al., 2018). Sin embargo, aunque el BIM revolucionó el estudio de diseño, su impacto en la obra activa siguió siendo limitado; las personas trabajadoras seguían viéndose obligadas a mirar hacia abajo a una pantalla 2D (una tableta o un plano impreso) y luego levantar la vista hacia un entorno 3D, intentando conciliar mentalmente ambos.

1.2 La brecha de confianza y la descarga cognitiva

Esta dependencia de la traducción mental introduce una barrera cognitiva significativa, a la que se suele denominar «brecha de confianza». Los/as clientes/as sin formación en arquitectura, e incluso profesionales con menos experiencia, suelen tener dificultades para traducir con precisión un plano bidimensional o incluso un modelo 3D complejo visualizado en una pantalla plana a una realidad espacial. Esta brecha da lugar a malinterpretaciones, insatisfacción de la clientela y órdenes de cambio a mitad del proyecto.

La realidad aumentada (RA) y la realidad virtual (RV) abordan de forma definitiva este reto a través de un mecanismo psicológico conocido como *descarga cognitiva*. Al permitir que la tecnología digital inmersiva represente el espacio a una escala real de 1:1 en relación con el usuario humano, la carga cognitiva de la visualización espacial se elimina por completo del cerebro. En lugar de obligar a las partes interesadas a imaginar cómo encajará un conducto de climatización propuesto sobre un falso techo, la tecnología representa el conducto exactamente donde se instalará. Este cambio fundamental permite a las partes interesadas centrar sus recursos cognitivos por completo en tareas de mayor importancia: la toma de decisiones, la planificación espacial y la rápida identificación de riesgos.

1.3 Accesibilidad para las PYMES

Históricamente, las tecnologías de RA y RV eran prohibitivamente caras, relegadas a proyectos de infraestructura multimillonarios o a la ingeniería aeroespacial avanzada. Sin embargo, para las pequeñas y medianas empresas (pymes) del sector de la construcción actual, estas tecnologías inmersivas se han vuelto muy accesibles y económicamente viables. La integración de dispositivos móviles de consumo —concretamente tabletas equipadas con escáneres de detección y medición de distancias por luz (LiDAR)— junto con cascos de RV autónomos como el Meta Quest 3, proporciona un completo conjunto de herramientas inmersivas por menos de 1500 €. Este módulo describe las aplicaciones prácticas, las ventajas pedagógicas en la formación en seguridad y el retorno de la inversión (ROI) explícito asociado al despliegue de estas herramientas transformadoras en proyectos de renovación cotidianos.

2. El espectro de la realidad digital

Las tecnologías inmersivas a menudo se conceptualizan no como herramientas distintas, sino como puntos continuos a lo largo de un espectro definido por el grado en que sustituyen el entorno físico por imágenes sintéticas (Milgram y Kishino, 1994). Comprender este continuo realidad-virtualidad es imprescindible para que los/as jefes/as de obra seleccionen la tecnología adecuada para fases específicas de la renovación, principalmente porque la estricta necesidad de una percepción ambiental sin obstáculos fluctúa a lo largo del ciclo de vida de un proyecto.

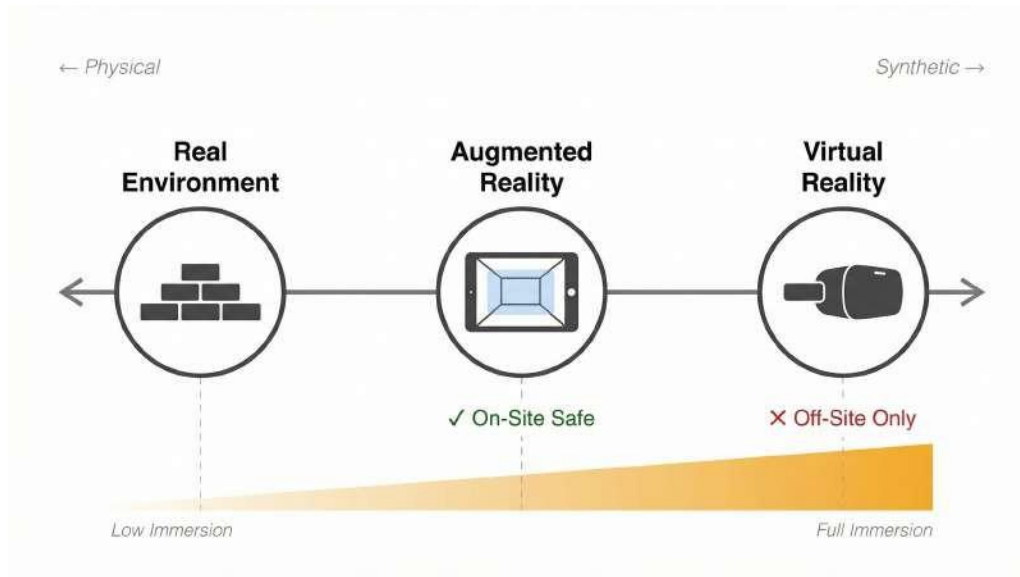


Fig. 1 - Continuo realidad-virtualidad

2.1 Las dos modalidades principales de la realidad virtual

La **realidad aumentada (RA)** se sitúa más cerca del extremo del espectro correspondiente al entorno físico. Consiste en la superposición computacional en tiempo real de información digital directamente sobre la visión que tiene la persona del mundo físico. Un aspecto crucial para la seguridad laboral es que la visión periférica y su percepción espacial de los peligros se conservan íntegramente. En consecuencia, la RA se considera segura y muy adecuada para obras de construcción activas y dinámicas. A modo de ejemplo práctico, las personas trabajadoras que utilizan una tableta equipada con un sensor LiDAR pueden visualizar los sistemas mecánicos, eléctricos y de fontanería (MEP) digitales perfectamente alineados con las vigas físicas del techo antes de comenzar la instalación física.

Por el contrario, la **realidad virtual (RV)** ocupa el extremo completamente sintético del continuo. La RV oculta por completo el entorno físico, envolviendo a la persona que la utiliza en un espacio artificial renderizado digitalmente. Dado que esto la aísla visualmente de peligros físicos inmediatos e impredecibles —como herramientas sin asegurar, materiales peligrosos y maquinaria pesada en movimiento—, el despliegue operativo de la RV se limita estrictamente a entornos fuera de la obra o controlados. Entre los casos de uso seguros típicos se incluyen la oficina móvil de la obra, una sala de formación específica o la sala de juntas de la empresa del cliente.

2.2 Mecanismo de acción: cómo la RA móvil «ve» la realidad

La proliferación de la RA móvil en las pymes del sector de la construcción se debe en gran medida a la miniaturización de la tecnología de detección y telemetría por luz (LiDAR). Aunque tradicionalmente eran exclusivos de costosos equipos de topografía montados en trípodes, los sensores LiDAR ahora se integran directamente en tabletas de consumo, como el iPad Pro.

A efectos didácticos, el LiDAR funciona según un principio fundamental conocido como «tiempo de vuelo» (ToF). El

escáner emite rápidamente miles de pulsos de luz infrarroja invisibles por segundo hacia el entorno físico circundante. Cuando un pulso de luz incide en un objeto físico —como un muro de hormigón, un montante de madera o un montón de escombros— se refleja de vuelta hacia el sensor de la tableta. Dado que la velocidad de la luz es una constante, el procesador computacional especializado del dispositivo calcula el tiempo exacto que tardó cada fotón individual en salir, rebotar y regresar.

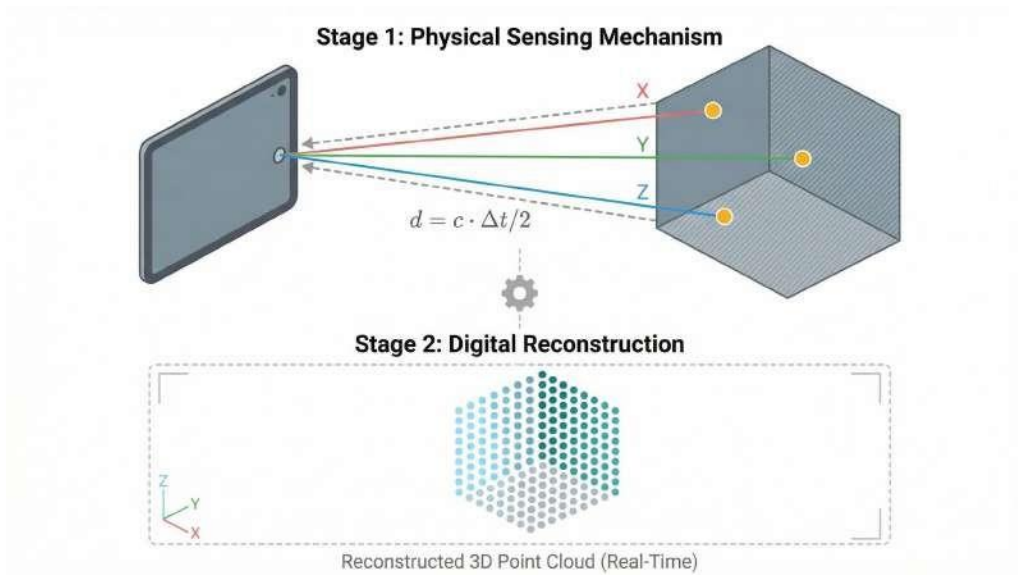


Fig. 2 - Mecanismo de tiempo de vuelo del LiDAR

Al realizar este cálculo matemático de forma continua millones de veces por minuto, el iPad cartografía eficazmente su entorno físico en tiempo real, construyendo una «nube de puntos» tridimensional de gran precisión. Es esta comprensión espacial precisa e instantánea la que permite al *software* de la tableta anclar de forma segura un modelo BIM tridimensional digital en una obra de renovación irregular e imperfecta sin que el modelo digital se «desplace» o se desalinee mientras la persona camina físicamente por la habitación.

2.3 El panorama actual del *hardware* en las PYMES

Como reflejo de esta división funcional y tecnológica, el panorama actual del *hardware* para las pymes está esencialmente bifurcado:

- ▶ **RA móvil (operaciones in situ):** utiliza principalmente dispositivos como el iPad Pro o teléfonos inteligentes de gama alta equipados con LiDAR integrado. Funciona como la herramienta principal y resistente para la coordinación de oficios in situ, la detección rápida de colisiones y las visitas iniciales con la clientela sobre el terreno.
- ▶ **RV autónoma (operaciones fuera de la obra):** utiliza cascos inalámbricos con seguimiento interno, como el Meta Quest 3. Este *hardware* se utiliza predominantemente para aplicaciones fuera de la obra que requieren una inmersión profunda, incluidos módulos de formación en seguridad de forma inmersiva y revisiones exhaustivas del diseño previas a la construcción.

3. Realidad Virtual para la formación en seguridad

Los métodos tradicionales de formación en seguridad suelen basarse en medios pasivos, como presentaciones de diapositivas y vídeos de procedimientos. Estas modalidades activan la memoria semántica, lo que implica la recuperación factual de la información. La investigación empírica demuestra que, un mes después de estas

intervenciones formativas, la retención de los protocolos de seguridad críticos suele ser inferior al 20 %.

La realidad virtual altera de forma fundamental este paradigma de aprendizaje. Al inducir un estado psicológico de «presencia», la RV activa la memoria episódica, el sistema cognitivo responsable de codificar las experiencias vividas. En consecuencia, el cerebro codifica una caída simulada desde un andamio en la RV con una actividad neurológica funcionalmente homóloga a la de experimentar una caída real. Este aprendizaje experiencial se traduce en resultados significativamente mejores. Los análisis del sector indican que las tasas de recuerdo tras una formación en seguridad basada en la RV pueden alcanzar el 90 % (PwC, 2022). Además, el alumnado muestra un 275 % más de confianza a la hora de identificar y reaccionar ante los peligros durante situaciones de emergencia simuladas (PwC, 2022).

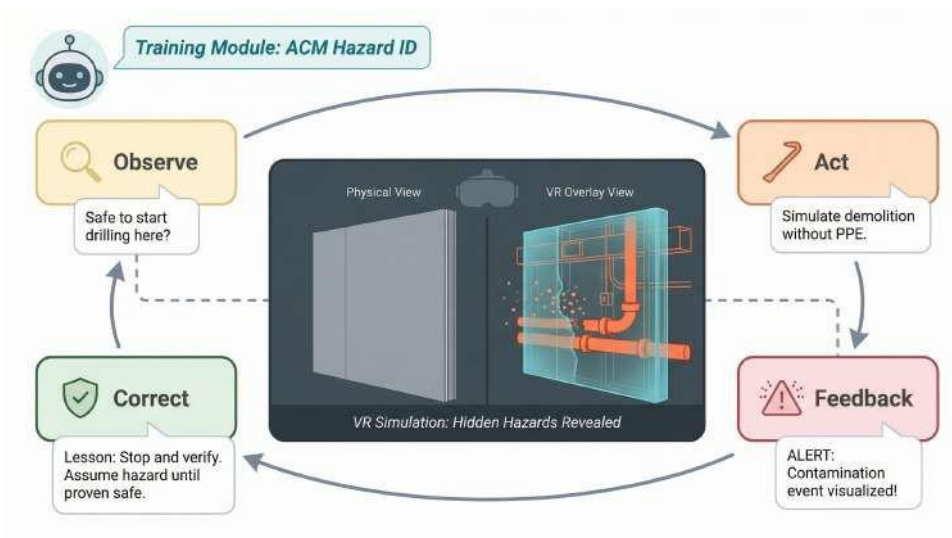


Fig. 3 - Simulación de riesgos en RV: amianto

Una aplicación destacada en los proyectos de renovación es la identificación y el manejo de materiales que contienen amianto (MCA). La renovación de edificios construidos antes de la década de 1980 suele requerir hacer frente a estos riesgos latentes. En una simulación de realidad virtual, las personas trabajadoras practican la identificación de materiales sospechosos, como baldosas de dimensiones específicas o revestimientos texturizados de techos, utilizando heurísticas basadas en el contexto visual. Fundamentalmente, si un trabajador o trabajadora simula una demolición destructiva sin utilizar los protocolos de contención adecuados, el entorno de RV visualiza al instante el evento de contaminación. Las fibras invisibles se hacen visibles como partículas brillantes que se dispersan por toda la sala simulada. Este bucle de retroalimentación visceral e inmediata garantiza que la fuerza laboral interiorice una metodología cautelosa, basada en «sospechar primero», antes de iniciar la demolición física en emplazamientos reales.

Otro módulo crítico aborda la entrada en espacios confinados. Las estadísticas de la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA) indican que el 60 % de las muertes en espacios confinados involucran a personas que intentan realizar un rescate sin el equipo adecuado o sin pruebas atmosféricas previas (OSHA, 2023). Las simulaciones de RV imponen el estricto cumplimiento de la regla de «rescate sin entrar». Por ejemplo, si un alumno o alumna intenta entrar en una zanja digital o en un pozo de servicios públicos para ayudar a un compañero o compañera que ha sufrido un derrumbe sin un monitor de aire y un arnés de rescate, la simulación activa sistemáticamente un estado de fallo de «doble fatalidad». Esto ofrece una lección decisiva y emotiva sobre el cumplimiento de los procedimientos sin exponer a la persona trabajadora a riesgos físicos.

4. Revisión del diseño y coordinación de la obra

Un reto omnipresente e histórico en los proyectos de renovación es la discrepancia entre el diseño arquitectónico previsto y la realidad física «tal y como está construida» de la estructura envejecida. La integración del modelado de información de construcción (BIM) con tecnologías inmersivas proporciona mecanismos sólidos para la verificación espacial continua y en tiempo real, mitigando significativamente estas discrepancias antes de que se manifiesten como costosos errores físicos.

4.1 El recorrido virtual (visualización virtual)

Antes de iniciar cualquier demolición física, ofrecer a la clientela y partes interesadas un recorrido en realidad virtual por el espacio renovado propuesto es fundamental para obtener «aprobaciones visuales» objetivas y fundamentadas. La puesta en escena virtual permite a las partes interesadas evaluar de forma interactiva las complejas dimensiones espaciales, el impacto de la iluminación natural y artificial, y la interacción de los acabados de materiales propuestos.

Este proceso de revisión preventivo reduce sustancialmente las costosas órdenes de cambio a mitad del proyecto que suelen surgir de interpretaciones erróneas, por parte de personas sin conocimientos especializados, de los planos arquitectónicos bidimensionales en cuanto a la estética o el espacio. Cuando un cliente o clienta puede «recorrer» físicamente la distancia virtual entre una isla de cocina propuesta y una pared interior, su posterior aprobación conlleva un grado significativamente mayor de certeza espacial.

4.2 Supervisión remota «See-What-I-See» (SWIS)

La realidad aumentada mejora significativamente la supervisión remota, la tutoría y los protocolos de control de calidad a través de marcos «See-What-I-See» (SWIS). En los casos en que un técnico o técnica junior in situ se encuentra con una anomalía estructural compleja, como una viga diagonal no documentada y potencialmente portante durante el armazón, los métodos de comunicación verbales estándar o basados en fotografías estáticas suelen resultar insuficientes para un análisis seguro.

A través de SWIS, el personal técnico inicia una sesión de gran ancho de banda mediante una tableta con AR o unas gafas de realidad aumentada. Un supervisor o supervisora sénior fuera de la obra, que suele observar desde la oficina central de la empresa, recibe una vista estereoscópica en primera persona y en tiempo real de la anomalía física. Utilizando las tecnologías de anclaje espacial subyacentes de la tableta (por ejemplo, SLAM o mapeo de profundidad LiDAR), la persona encargada de la supervisión puede añadir anotaciones digitales a la vista física concreta del técnico o técnica en tiempo real. Por ejemplo, el supervisor o supervisora puede delimitar explícitamente una zona de corte mecánico-segura, dibujar una flecha que indique la trayectoria correcta del trazado de la tubería o marcar con un círculo un peligro activo. Es fundamental destacar que estas anotaciones digitales no son meros dibujos planos en una pantalla 2D, sino que permanecen fijas de forma estructural y persistente en el espacio físico tridimensional del dispositivo del personal técnico, lo que facilita una resolución inmediata e inequívoca de los problemas sin que sea necesario que la persona supervisora se desplace físicamente al lugar.

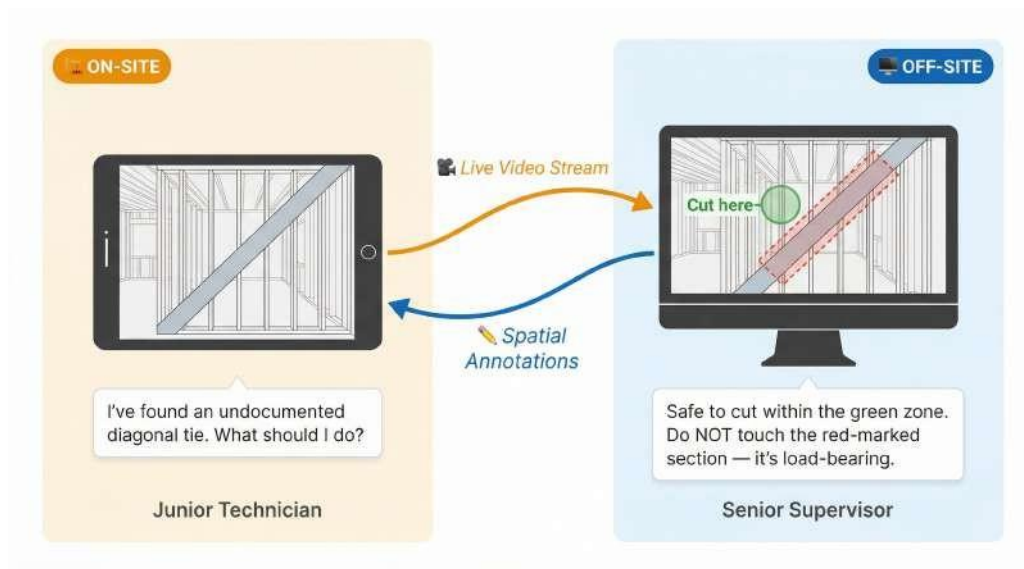


Fig. 4 - Arquitectura de supervisión remota de SWIS

4.3 El paradigma de la «Visión de rayos X» (detección de colisiones)

Quizás la aplicación más impactante de la RA en obras de renovación en curso sea el paradigma de la «Visión de rayos X»: la capacidad de superponer computacionalmente modelos digitales de infraestructura BIM —como complejas redes de conductos de climatización, sistemas de extinción de incendios o densas trayectorias de fontanería— directamente sobre el entorno físico. Esta capacidad tecnológica permite la identificación preventiva de conflictos espaciales, comúnmente denominados en el sector como «colisiones», mucho antes de que comience la instalación física.

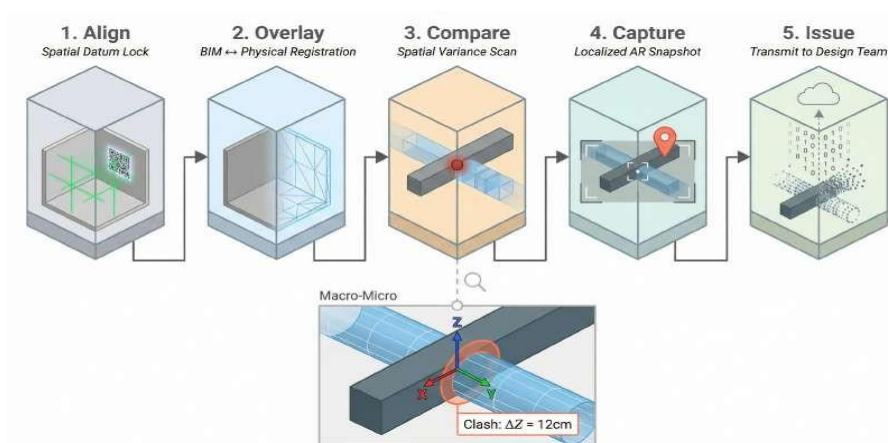


Fig. 5 - Flujo de trabajo de detección de colisiones mediante RA

La metodología establecida en el sector para llevar a cabo este análisis implica un flujo de trabajo secuencial de cinco pasos:

1. **Alineación:** el operario alinea el modelo digital con el punto de referencia físico. Esto se consigue a menudo mediante un marcador visual estático, como el escaneo de un código QR de alto contraste fijado con precisión

a una columna estructural conocida, o mediante el mapeo simultáneo de entorno (SLAM). Sin esta localización inicial precisa, toda la superposición posterior se verá matemáticamente alterada.

2. **Superposición:** El plano mecánico objetivo (por ejemplo, el complejo trazado de los conductos eléctricos) se representa volumétricamente sobre el espacio físico, como un suelo de hormigón vacío o una pared de entramado abierta.

3. **Comparación:** El trabajador o trabajadora recorre físicamente el suelo, realizando un análisis de variaciones espaciales. Compara activamente la proyección digital con las realidades físicas inamovibles, como una viga de acero no documentada ni cartografiada que se cruza con un conducto de ventilación digital propuesto.

4. **Captura:** Al identificar un conflicto o colisión física, la persona utiliza la interfaz de la tableta para capturar una imagen espacial de RA localizada, documentando simultáneamente la obstrucción física y el modelo digital que se cruza con ella dentro del mismo encuadre cohesionado.

5. **Notificación:** Esta evidencia visual exhaustiva, etiquetada automáticamente con coordenadas espaciales precisas dentro del modelo BIM holístico, se transmite directamente al equipo de ingeniería o diseño. Este ciclo de retroalimentación inmediata permite un rediseño digital de la geometría del sistema que responde de forma proactiva a las condiciones in situ y, en este ejemplo, incorpora la viga de acero al BIM y ajusta el recorrido del conducto de ventilación para que no haya colisión. Esto evita que el conflicto solo se detecte una vez que la instalación del conducto de ventilación ya haya comenzado y vaya a chocar con la viga de acero.

De este modo, se garantiza que no sea necesario cortar, instalar y posteriormente retirar materiales innecesariamente solo para evitar chocar con la viga de acero, optimizando así la eficiencia del calendario y reduciendo drásticamente los residuos industriales en la obra.

4.4 Verificación al final de la fase: la comprobación digital del estado construido

Si bien la detección de colisiones es un protocolo previo a la instalación, la RA cumple una función secundaria fundamental como herramienta de control de calidad (QA) posterior a la instalación. Históricamente, verificar que una pared con estructura compleja o una intrincada red de tuberías se hubiera instalado exactamente según las especificaciones de ingeniería era un proceso de medición manual laborioso y propenso a errores.

Utilizando el mismo conjunto de *hardware* de RA que se emplea para la detección de colisiones, un capataz puede realizar una «verificación digital del estado real» al concluir una fase de obra. Antes de que lleguen los contratistas de placas de yeso para sellar las paredes —ocultando de forma permanente los sistemas MEP—, el capataz recorre la obra con un iPad. La tableta superpone el modelo arquitectónico aprobado directamente sobre las tuberías y cajas eléctricas recién instaladas. En consecuencia, si una tubería se desvía 10 cm del esquema aprobado, se aprecia inmediatamente a simple vista como un error de «visión doble» en la pantalla. La estructura se puede corregir inmediatamente antes de que el siguiente gremio oculte el error en la pared. Este proceso de verificación visual actúa como documentación irrefutable de que la persona contratista ha ejecutado el trabajo con precisión según las especificaciones, lo que constituye una «entrega digital» potente y modernizada para la persona propietaria de la obra.

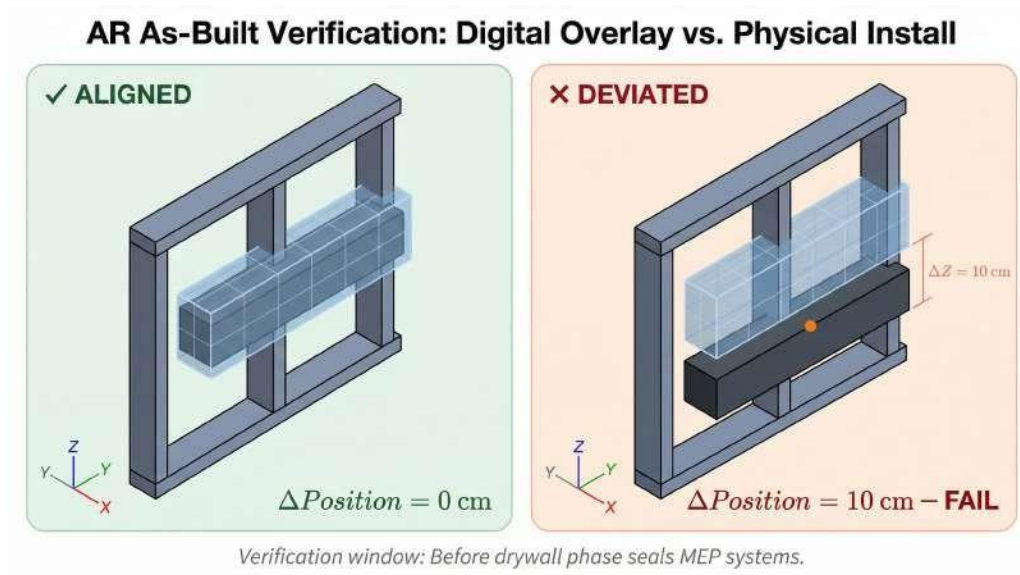


Fig. 6 - Proceso de verificación digital de la obra terminada

El retorno de la inversión y el caso de negocio

Para las pymes que operan con márgenes financieros ajustados, la tecnología inmersiva debe evaluarse como una inversión de capital que genera rendimientos cuantificables. El principal impulsor del retorno de la inversión (ROI) de la RA y la RV en la renovación es el concepto de «reparaciones evitadas».

La economía del error en la construcción es muy asimétrica. Los análisis del sector indican que las repeticiones de trabajo suelen representar entre el 5 % y el 15 % de los costes totales del proyecto en renovaciones complejas (Dodge Data & Analytics, 2021). El coste de rectificar un error de diseño detectado durante una revisión en RV antes de la construcción es prácticamente insignificante, ya que a menudo implica una simple digital modificación que requiere solo trabajo computacional. Además, las repeticiones de trabajo tras la instalación requieren una demolición completa, nuevos materiales y retrasos significativos en el calendario, con unos costes de mitigación que aumentan sustancialmente en cada fase posterior del proyecto.

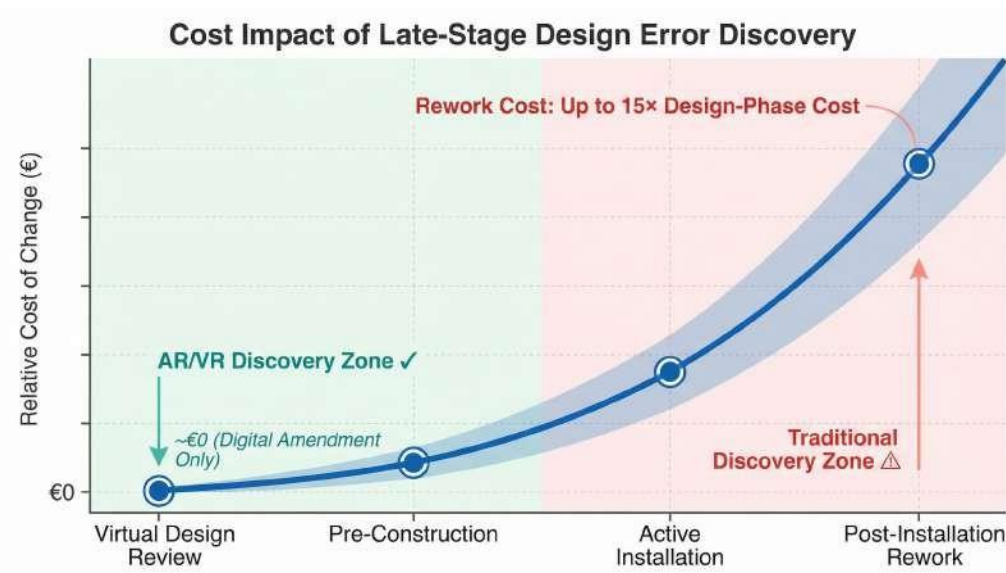


Fig. 7 - Curva de costes exponencial de los cambios de diseño

Un análisis operativo combinado, basado en los datos de Dodge Data & Analytics (2021) que indican que las modificaciones representan entre el 5 % y el 15 % de los costes totales de un proyecto, ilustra el impacto financiero de la detección de conflictos previa a la instalación. Para una empresa de reformas de tamaño medio que gestiona una cartera de proyectos anual valorada en 500 000 €, evitar las modificaciones mediante la detección de conflictos basada en la RA puede suponer un ahorro de entre 25 000 € y 75 000 €. En comparación con la inversión habitual en *hardware* de RA móvil y licencias de *software* empresarial (aproximadamente 6000 € por un único dispositivo de gama alta con una suscripción de un año), evitar incluso un solo conflicto importante puede compensar casi por completo la inversión total en RA del ejercicio fiscal. Aunque la magnitud de los costes de reelaboración varía significativamente según el sector y la complejidad del proyecto, este cálculo ilustra la ventaja económica fundamental de la detección temprana de conflictos frente a la corrección posterior a la instalación.

Retos de implementación para las PYMES

A pesar del retorno de la inversión (ROI) demostrable, la implementación de tecnologías RX en obras de renovación en curso requiere estrategias deliberadas para superar obstáculos ambientales y financieros intrínsecos.

Si bien el hardware de consumo es cada vez más asequible, las licencias de software de RA para empresas pueden suponer importantes costes recurrentes. Las pymes deben calcular rigurosamente su coste total de propiedad (TCO), teniendo en cuenta las cuotas de suscripción, que suelen oscilar entre 1.500 € y 3 000 € por la persona usuaria al año. Estos gastos operativos deben justificarse frente al ahorro previsto en la repetición de trabajos antes de comprometerse con un ecosistema de software específico.

Además, los entornos de renovación son intrínsecamente hostiles para la electrónica de precisión. El polvo de sílice en suspensión se infiltra rápidamente en los mecanismos de refrigeración activos, mientras que los impactos físicos accidentales suelen comprometer los componentes ópticos sensibles, como las lentes LiDAR. En consecuencia, el despliegue de soluciones de carcasas resistentes con clasificación de protección contra la entrada (IP) debe considerarse una inversión en infraestructura obligatoria, más que un accesorio opcional.

Los algoritmos de seguimiento de RA, en particular la Localización y Cartografía Simultáneas (SLAM), se basan matemáticamente en el contraste visual para identificar puntos de referencia geométricos y anclar con precisión los modelos digitales. Estos algoritmos sufren fallos críticos en entornos carentes de luz ambiental, como sótanos sin iluminación, o, por el contrario, en entornos altamente reflectantes o deslumbrantes, como la luz solar directa y sin sombra. Tales extremos provocan una deriva digital computacional, en la que el modelo superpuesto se desprende de sus anclajes espaciales físicos, lo que hace que la herramienta resulte ineficaz.

Por último, el renderizado volumétrico tridimensional continuo y el procesamiento activo de la cámara suponen una gran carga para las arquitecturas de *hardware* móvil. La batería de una tableta estándar se agota con frecuencia en dos o tres horas de aplicación continua de RA sobre el terreno. Deben establecerse sistemáticamente estrategias integrales de gestión de la energía y protocolos activos de rotación de baterías para garantizar un despliegue sobre el terreno viable e ininterrumpido a lo largo de un turno operativo estándar.

Casos prácticos

Para contextualizar los marcos teóricos, financieros y procedimentales establecidos en las secciones anteriores, este módulo analiza tres casos prácticos representativos. Estos escenarios ilustran la integración práctica de las metodologías de RA y RV en las operaciones habituales de renovación de las pymes, describiendo la identificación del problema, la intervención tecnológica y la resolución posterior.

Caso práctico 1: El rediseño espacial iterativo (aplicación de RA)

Un reto recurrente en la renovación residencial y comercial son las modificaciones de diseño solicitadas por la clientela a mitad del proyecto que entran en conflicto inesperadamente con sistemas estructurales o mecánicos existentes y no documentados. En este escenario, se solicitó la reubicación física sustancial de una gran isla de cocina central tras el inicio de la demolición y el armazón de obra bruta. Tradicionalmente, verificar la viabilidad física de esta reubicación ad hoc implicaría, aparentemente, realizar mediciones con cinta métrica y una planificación espacial especulativa.

En lugar de basarse en estimaciones espaciales heurísticas, la persona contratista utilizó un iPad Pro equipado con funciones de escaneo LiDAR para anclar un modelo digital 3D a escala 1:1 de la isla propuesta en el espacio físico. Esta superposición inmediata de RA reveló objetivamente dos conflictos operativos críticos. En primer lugar, la nueva orientación infringía los códigos de construcción comercial establecidos, dejando un espacio libre insuficiente para la vía de evacuación adyacente.

En segundo lugar, al activar el modo de visualización «X-Ray», la persona contratista superpuso el esquema digital de fontanería directamente sobre el suelo de hormigón físico, demostrando que las líneas de suministro de agua y desagüe necesarias estaban desalineadas en 10 cm. Corregir esta desalineación fundamental requeriría, en teoría, una operación de excavación de zanjas por valor de 2500 € a través de la losa de hormigón estructural existente.

Caso práctico 2: Síntesis del calendario de construcción en 4D (aplicación de RV)

La compresión del calendario en las renovaciones comerciales suele requerir el despliegue simultáneo y de alta densidad de múltiples oficios especializados en espacios reducidos. En este escenario, la renovación de una oficina comercial de varios pisos se llevaba a cabo bajo un calendario muy acelerado, sujeto a estrictas cláusulas de indemnización por incumplimiento. La persona encargada de dirigir el proyecto, con el fin de optimizar la secuencia de los oficios y evitar cuellos de botella operativos, utilizó un casco de realidad virtual independiente para sumergirse en el calendario de construcción 4D: un sofisticado modelo computacional que integra los datos espaciales 3D estándar con el flujo temporal del calendario del proyecto.

Al avanzar computacionalmente la línea de tiempo digital hasta la «Semana 6» de la proyección, la persona responsable de la dirección del proyecto se situó en la representación virtual a escala 1:1 de la futura obra física. La perspectiva inmersiva en primera persona puso de manifiesto de inmediato un conflicto logístico crítico que quedaba totalmente oculto en los tradicionales diagramas de Gantt en 2D impresos en papel que yacían sobre el escritorio. La simulación inmersiva reveló que las grandes plataformas elevadoras de tijera motorizadas del equipo de instalación de paneles de yeso tenían programado operar dentro del mismo estrecho pasillo de acceso designado simultáneamente para la operación principal de tendido de cables de alta tensión del equipo eléctrico. Una colisión física y mecánica en la obra en activo era computacionalmente inevitable.

Al detectar de forma preventiva esta limitación crítica en el entorno virtual, se reestructuró el calendario logístico, reorganizando el orden de las distintas especialidades para que trabajaran de forma secuencial, en lugar de simultánea, dentro de la ruta crítica. Esta intervención digital proactiva y de bajo coste evitó una paralización operativa de varios días que habría afectado a múltiples especialidades en la obra física, preservando así la ruta crítica del calendario del proyecto.

Caso práctico 3: La revisión con realidad virtual (RV) tras el incidente

Si bien la RV es excepcionalmente eficaz para la formación inicial y proactiva en materia de seguridad, desempeña un papel igualmente crucial en el análisis reactivo de las causas raíz tras un incidente y en la corrección del comportamiento.

Consideremos un proyecto de renovación de una fachada urbana de varios pisos. Durante el montaje del andamio exterior, se produjo un grave conato de accidente: una correa de seguridad de una herramienta falló, provocando que una llave estructural principal cayera tres pisos, pasando a milímetros de una pasarela peatonal situada debajo. El protocolo estándar del sector exige una «parada de seguridad» inmediata en toda la obra, que suele consistir en una reprimenda verbal ad hoc impartida por la persona responsable de seguridad en la caseta de obra, tras analizar un informe escrito del incidente. Como es sabido, estas sesiones informativas verbales y semánticas producen índices de retención a largo plazo excepcionalmente bajos entre las personas trabajadoras.

Para maximizar el impacto pedagógico de la reunión de seguridad, la persona responsable de la seguridad de la obra utilizó un kit de *hardware* de realidad virtual especializado. En lugar de leer un informe físico, los cinco miembros del equipo de andamios se pusieron individualmente unas gafas Meta Quest. Se les sumergió computacionalmente en una reconstrucción simulada y visceral del incidente exacto. Desde una perspectiva en primera persona, experimentaron la sensación física de la altura, el fallo repentino del cordón de seguridad digital y la trayectoria de alto impacto de la herramienta que caía, visualizada con un audio espacializado de alta fidelidad que acompañaba al impacto en el suelo.

Esta intervención inmersiva modificó de manera fundamental el impacto psicológico de la paralización de las obras. Al transformar una infracción teórica de las normas de seguridad en un recuerdo episódico y emocionalmente evocador, la simulación de realidad virtual provocó un cambio de comportamiento significativo en la plantilla. Al permitir a las personas trabajadoras interactuar físicamente con el entorno digital y experimentar las consecuencias de un fallo en un gemelo digital sin riesgos de su propio lugar de trabajo, la empresa logró el cumplimiento total de

las normas locales sobre sujeción de herramientas durante toda la duración del proyecto, que se prolongó durante varios años.

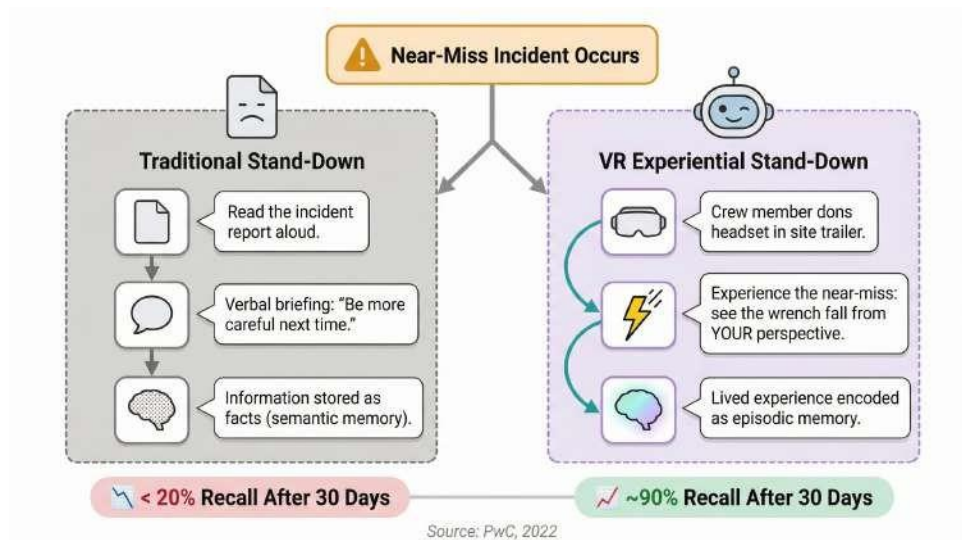


Fig. 8 Comparación de resultados entre la suspensión tradicional y la de RV

Ejercicios

Elija la mejor respuesta para cada pregunta. La clave de respuestas se encuentra al final de esta sección.

1. ¿Por qué se considera que la realidad aumentada (RA) es segura para su uso activo en obras, en comparación con la realidad virtual (RV)?

- A) Oculta por completo el entorno físico para que la persona trabajadora se concentre
- B) Preserva la visión periférica de la persona usuaria y su percepción de los peligros espaciales
- C) Se basa exclusivamente en la memoria semántica, en lugar de en la memoria episódica
- D) No necesita batería para funcionar

2. ¿Qué mecanismo psicológico ayuda a salvar la «brecha de confianza» al permitir a los usuarios comprender un espacio digital a escala 1:1 sin tener que traducir mentalmente un dibujo en 2D?

- A) Descarga cognitiva
- B) Recuerdo semántico
- C) Desviación de la puesta en escena visual
- D) Anclaje del gemelo digital

3. ¿Qué tecnología permite a un dispositivo móvil cartografiar su entorno en tiempo real calculando el «tiempo de vuelo» de los pulsos de luz infrarroja?

- A) SLAM
- B) SWIS
- C) LiDAR
- D) HMD

4. La formación en seguridad tradicional recurre a la memoria semántica (recuerdo de hechos). ¿Qué tipo de memoria utiliza la realidad virtual para alcanzar tasas de retención cercanas al 90 %?

- A) Memoria a corto plazo
- B) Memoria motora
- C) Memoria episódica
- D) Memoria ecoica

5. ¿Qué significa el acrónimo «SWIS» en el contexto de la supervisión de instalaciones remotas?

- A) Sistema de integración de flujos de trabajo espaciales
- B) Simulación interactiva para trabajadores/as de campo
- C) «See-What-I-See»
- D) Sistema de información de advertencias de seguridad

6. En el flujo de trabajo de detección de colisiones de RA de 5 pasos, ¿por qué el paso inicial «Alinear» es crítico desde el punto de vista computacional?

- A) Pide automáticamente nuevos materiales para la obra
- B) Garantiza que el modelo BIM digital quede matemáticamente vinculado a los puntos de referencia espaciales físicos
- C) Envía el informe final de colisiones al equipo de diseño
- D) Calcula el ROI total de la operación

7. En el flujo de trabajo de detección de colisiones de RA de 5 pasos, ¿por qué el paso inicial «Alinear» es crítico desde el punto de vista computacional?

- A) Durante la fase inicial de licitación del cliente/a

- B) Antes de que comience la demolición física
- C) Al concluir una fase de obra, justo antes de que los paneles de yeso oculten por completo los sistemas MEP
- D) Solo tras la entrega final del proyecto al cliente

8. Según el módulo, ¿cuál es el principal factor financiero que justifica el ROI (retorno de la inversión) de las tecnologías inmersivas en las pymes?

- A) Evitar la repetición de trabajos y optimizar los plazos
- B) Reducción de los gastos de *marketing* y publicidad
- C) Reducción del coste de los materiales básicos, como la madera y el hormigón
- D) La disminución de las primas de seguro para el contratista general

9. Teniendo en cuenta la curva de costes exponencial de los cambios de diseño, ¿qué ocurre si se detecta un conflicto espacial durante la instalación activa en lugar de durante una revisión virtual del diseño?

- A) El coste sigue siendo insignificante, ya que solo requiere una actualización de *software*
- B) El calendario del proyecto se acelera considerablemente
- C) La clientela asume toda la responsabilidad financiera por defecto
- D) El coste de mitigación aumenta sustancialmente debido al desperdicio de mano de obra, materiales y demolición

10. ¿Qué restricción ambiental en una obra de renovación es la que más probablemente provoque el fallo de los algoritmos de seguimiento de RA (como SLAM) y cause una «deriva digital»?

- A) Altitud excesiva sobre el nivel del mar.
- B) Entornos con falta de luz ambiental o expuestos a la luz solar directa y cegadora
- C) Ruido acústico elevado procedente de maquinaria pesada
- D) La falta de una conexión Wi-Fi de alta velocidad. Clave de respuestas (para instructores/validación)

Respuestas

1) B 2) A 3) C 4) C 5) C 6) B 7) C 8) A 9) D 10) B

Referencias

Dodge Data & Analytics (2021) El valor empresarial del BIM para los propietarios. Informe SmartMarket.

Milgram, P. y Kishino, F. (1994) «A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays», IEICE Transactions on Information Systems.

OSHA (2023) Espacios confinados en la construcción: riesgos y soluciones. Administración de Seguridad y Salud Ocupacional.

PwC (2022) La eficacia de la formación en habilidades sociales mediante realidad virtual en la empresa. PricewaterhouseCoopers.

Sacks, R., Eastman, C., Lee, G. y Teicholz, P. (2018) Manual BIM: Guía sobre el modelado de información de construcción para propietarios, diseñadores, ingenieros, contratistas y gestores de instalaciones. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.

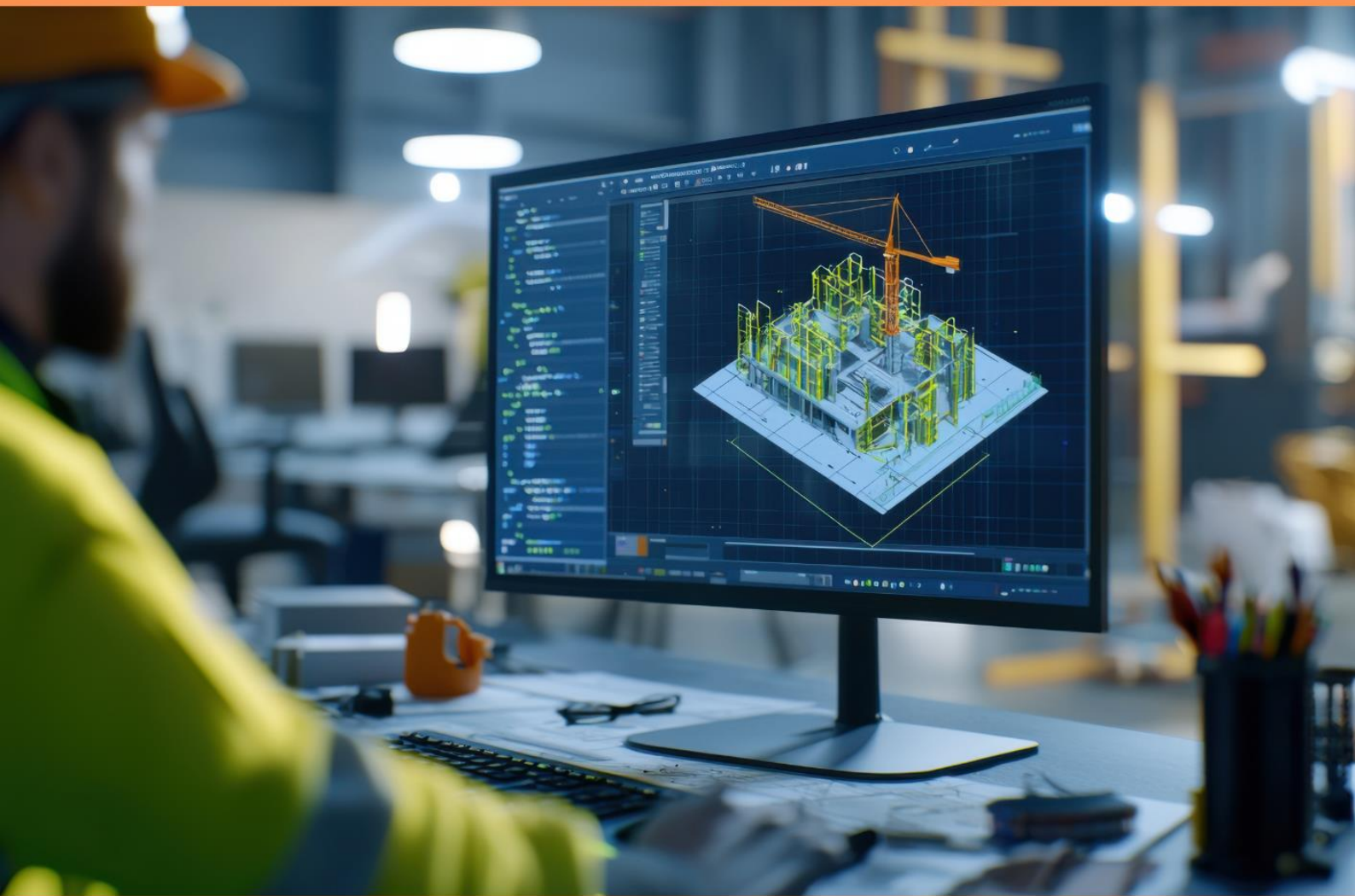
Las figuras 1-8 se generaron utilizando el generador de imágenes de IA Nano Banana a partir de indicaciones personalizadas creadas por el autor del módulo. Estas ilustraciones son representaciones conceptuales, a menos que se haya mencionado la fuente en la figura.

ET4 Digital

ET4D



CURSO 2



Modelado de Información de la Construcción (BIM) para PYMES



Cofinanciado por
la Unión Europea

Financiado por la Unión Europea. Las opiniones y puntos de vista expresados solo comprometen a su(s) autor(es) y no reflejan necesariamente los de la Unión Europea o los de la Agencia Ejecutiva Europea de Educación y Cultura (EACEA). Ni la Unión Europea ni la EACEA pueden ser considerados responsables de ellos.

Index

Tema 1: Fundamentos del BIM	5
Objetivos y resultados de aprendizaje y glosario	5
Objetivos de aprendizaje.....	5
Resultados del aprendizaje.....	5
Glosario.....	6
Introducción	7
1. ¿Qué es el BIM?	8
1.1 Definición del modelado de información de la construcción	8
1.2 Entender la «B» de BIM	8
1.3 Lo que NO es el BIM	9
1.4 Niveles de madurez del BIM.....	9
2. Componentes clave del BIM	9
2.1 Modelos y objetos BIM	9
2.2 Modelos federados	10
2.3 La información en el BIM	11
2.4 Desarrollo del modelo: PIM, AIM, AS-BUILT	11
3. Normas y marcos BIM	12
3.1 Norma ISO 19650	12
3.2 Nivel de desarrollo (LOD) y nivel de necesidad de información (LOIN)	12
3.3 Convenciones de nomenclatura de archivos (EN ISO 19650).....	13
4. Funciones y responsabilidades en BIM	14
4.1 Colaboración tradicional frente a BIM	14
4.2 Funciones clave del BIM	14
5. Plan de ejecución BIM (BEP)	15
5.1 ¿Qué es un Plan de Ejecución BIM?	15
5.2 Etapas del desarrollo del BEP	15
5.3 BEP previo al contrato y posterior al contrato	16
6. Entorno de datos común (CDE)	16
7. Beneficios y retos del BIM para las pymes	17
7.1 Beneficios del BIM	17
7.2 ¿Por qué deberían las pymes adoptar el BIM?	17
7.3 Retos para las pymes	18
7.4 Primeros pasos prácticos para la adopción del BIM en las pymes.....	19
Caso práctico	20
Ejercicios	22
Referencias	24
Tema 2: Implementación del BIM en las PYMES	26
Objetivos de aprendizaje, resultados y glosario	26
Objetivos de aprendizaje.....	26
Resultados del aprendizaje.....	26

Glosario.....	27
Introducción	28
1. Estrategia de adopción del BIM para PYMES.....	29
1.1 Empezar poco a poco: el enfoque del proyecto piloto	29
1.2 Definir una configuración BIM mínima	30
2. Herramientas BIM para pymes: qué hay y qué elegir	31
2.1 Herramientas de creación BIM (creación de modelos)	31
2.2 Herramientas de coordinación y revisión de modelos	32
2.3 Consideraciones de costes para las PYMES	33
3. Interoperabilidad.....	34
3.1 Por qué falla la interoperabilidad en las pymes	34
3.2 El papel del IFC en la colaboración abierta.....	35
3.3 Flujos de trabajo prácticos con IFC para pymes	35
3.4 Gestión de versiones y prevención de conflictos	36
3.5 Errores comunes de interoperabilidad	36
3.6 Recomendaciones clave para las pymes	36
4. Entorno de datos común (CDE) sencillo para PYMES	37
4.1 Elección de una solución CDE práctica	37
4.2 Definición de una estructura de carpetas clara.....	37
4.3 Control de acceso, responsabilidades y coordinación	38
4.4 Errores comunes y principios clave en el CDE	38
Caso práctico	39
Ejercicios	42
Referencias	44

Curso 2:

Modelado de la Información de la Construcción (BIM) para PYMES

Tema 1: Fundamentos del BIM

Tema 2: Implementación del BIM en las PYMES

Tema 1: Fundamentos del BIM

Objetivos y resultados de aprendizaje y glosario

Objetivos de aprendizaje

Los objetivos principales de este módulo son:

- ▶ Proporcionar a los formadores profesionales una comprensión exhaustiva de los fundamentos del modelado de información de la construcción (BIM), permitiéndoles introducir los conceptos del BIM a los alumnos en contextos de educación y formación profesional.
- ▶ Demostrar las diferencias prácticas entre los enfoques tradicionales de CAD en 2D y los flujos de trabajo colaborativos de BIM que utilizan modelos federados y el Entorno Común de Datos (CDE).
- ▶ Destacar la relevancia del marco normativo de la norma ISO 19650 para los requisitos de contratación pública de la UE, permitiendo al alumnado comprender las obligaciones de cumplimiento para los proyectos del sector público.
- ▶ Facilitar la comprensión de los tipos de objetos BIM y su papel en la creación de modelos digitales de edificios ricos en información a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

Resultados del aprendizaje

Al finalizar este módulo, los formadores y formadoras serán capaces de:

- ▶ Comprender qué es el BIM y por qué es importante para las pymes del sector de la construcción.
- ▶ Reconocer los componentes clave, las normas y la terminología del BIM.
- ▶ Explicar cómo el BIM favorece la colaboración y la gestión de la información a lo largo del ciclo de vida de un proyecto.
- ▶ Identificar los primeros pasos prácticos para la adopción del BIM en el contexto de una pyme.

Glosario

AIM (Asset Information Model)	Modelo de información de activos: aborda la fase de funcionamiento y mantenimiento del edificio.
BIM (Modelado de información de construcción)	Método de trabajo digital utilizado en las pymes del sector de la construcción para gestionar la información de los proyectos a lo largo del ciclo de vida del edificio.
CDE	Entorno de datos común: un repositorio central donde se almacena la información de los proyectos de construcción, lo que permite a todos los participantes acceder a una única fuente de información del proyecto.
BEP	Plan de ejecución BIM: documento de directrices que constituye la base de la colaboración BIM y define las estructuras organizativas, las responsabilidades, los procesos y los requisitos.
EIR	Los Requisitos de Información del Contratista (EIR) son documentos clave en el proceso BIM. Son redactados por el empleador antes de la licitación y definen los requisitos para la entrega de información, normas, procesos y formatos por parte del contratista. El EIR sirve de base para el plan de ejecución BIM (BEP) y garantiza que se cumplan los objetivos del cliente.
Modelo federado	Modelo de información de la construcción combinado, elaborado a partir de la fusión de varios modelos diferentes en uno solo, durante el diseño, la construcción y el uso.
LOD / LOIN	Nivel de desarrollo (LOD) / Nivel de necesidad de información (LOIN): el LOD define el grado en que se ha desarrollado la geometría y la información de los elementos. El LOIN (según la norma ISO 19650) define la calidad, la cantidad y la granularidad de la información necesaria en función de la finalidad prevista.
Interoperabilidad	Capacidad de diferentes sistemas de software para intercambiar y utilizar información sin errores ni omisiones.
MEP	Mecánica, eléctrica y de fontanería (MEP): sistemas de construcción que abarcan la mecánica (calefacción, ventilación y aire acondicionado), la electricidad (distribución de energía y alumbrado) y la fontanería (suministro de agua y desagüe). En BIM, la coordinación MEP es fundamental para detectar y resolver conflictos entre los sistemas y los componentes del edificio.
openBIM	openBIM es un enfoque universal e independiente de proveedores para la colaboración en el diseño, la construcción y la explotación de edificios, basado en estándares y flujos de trabajo abiertos. Permite a los equipos de proyecto trabajar juntos de forma fluida utilizando sus herramientas de software preferidas, garantizando la interoperabilidad de los datos y la accesibilidad a largo plazo a lo largo del ciclo de vida de un activo, a menudo utilizando IFC (Clases Fundamentales de la Industria) y BCF (Formato de colaboración BIM).
PIM	Modelo de Información del Proyecto: proporciona toda la información de construcción y gestión necesaria para la toma de decisiones, incluyendo presupuestos, compras y costes. Incluye el modelo de diseño y la implementación del modelo final.

Introducción

El sector de la construcción está experimentando una transformación digital, y el modelado de información de edificios (BIM) se encuentra en el centro de este cambio. El BIM es más que un simple *software* o modelos 3D. Más bien, el BIM supone un cambio fundamental en la forma en que se conciben, diseñan, construyen y mantienen los proyectos de construcción a lo largo de todo su ciclo de vida.

Comprender el BIM también es cada vez más importante para las pequeñas y medianas empresas (pymes) del sector de la construcción. La Directiva de la UE sobre contratación pública de 2014 ya exigía a todos los países de la UE que modificaran su legislación y recomendaran el uso del BIM en todos los contratos públicos, lo que hace que el conocimiento del BIM sea esencial para los contratistas y planificadores que deseen licitar para contratos públicos. Se espera una revisión de las directivas de contratación pública de la UE en 2026, que pondrá mayor énfasis en la digitalización y la sostenibilidad.

La encuesta a personas expertas del sector de la construcción y al personal de educación y formación profesional analizada en el marco del WP2 del proyecto ET4Digital concluye que, aunque el interés por el BIM está muy extendido, las competencias reales parecen ser limitadas. Este hallazgo pone de relieve la necesidad de reforzar las competencias digitales relacionadas con el BIM dentro del sistema de educación y formación profesional, incluyendo medidas específicas de formación continua y materiales didácticos simplificados.

Partiendo de esta necesidad identificada, este módulo proporciona al personal docente y de formación los conocimientos básicos necesarios para la introducción del BIM en las pymes. Abarca los principios esenciales, la terminología, los procesos y las consideraciones prácticas para la implementación del BIM. El contenido se basa en prácticas BIM consolidadas y en normas internacionales, y se presenta en un formato accesible.

En este módulo, el personal docente y de formación aprende no solo qué es el BIM, sino también cómo comunicar su relevancia y aplicación práctica al alumnado que trabaja o trabajará en empresas de construcción de diversos tamaños. El módulo se centra en la comprensión práctica más que en la complejidad técnica y reconoce que la implementación exitosa del BIM comienza con una comprensión clara de los conceptos básicos.

El módulo se estructura en cuatro secciones principales que se complementan progresivamente entre sí:

- ▶ ¿Qué es el BIM? - Exploración de los componentes clave, la terminología y los objetivos del modelado de información de la construcción.
- ▶ Normas y marcos BIM: comprensión de la norma ISO 19650, el nivel de desarrollo (LOD) y los requisitos de información.
- ▶ Colaboración, procesos y funciones del BIM: análisis del Entorno Común de Datos y de las responsabilidades clave en los proyectos BIM.
- ▶ Ventajas y retos para las pymes: identificación de aspectos prácticos y primeros pasos para la adopción del BIM en pequeñas empresas de la construcción.

1. ¿Qué es el BIM?

1.1 Definición del modelado de información de la construcción

Los proyectos de construcción siempre han implicado procesos, métodos y representaciones visuales, como los planos. El intercambio coordinado de información entre las personas que participan en el proyecto siempre ha sido necesario, y el BIM lo simplifica.

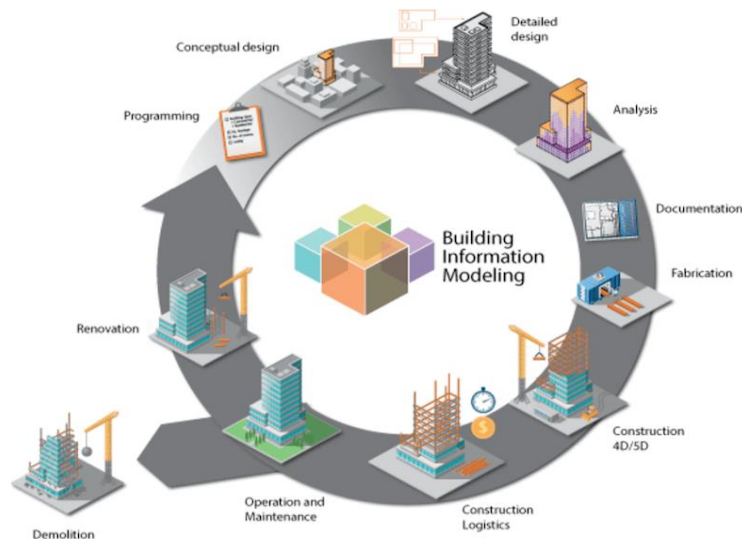
BIM son las siglas de *Building Information Modelling* (modelado de información de construcción), pero este acrónimo abarca dos significados complementarios que, juntos, definen su alcance:

Modelización de la información de construcción: el desarrollo y uso de un modelo digital que incluye planos, así como información sobre el proyecto de construcción. Se refiere a la creación de representaciones 3D enriquecidas con datos.

Gestión de la información de la construcción: los procesos y métodos utilizados para gestionar el proyecto de construcción a lo largo de todo su ciclo de vida. Esto hace hincapié en los aspectos colaborativos y de gestión de datos del BIM.

Según la norma ISO 19650:2019, el BIM se define como: «El uso de una representación digital compartida de un activo construido para facilitar los procesos de diseño, construcción y explotación, con el fin de constituir una base fiable para la toma de decisiones».

La tecnología garantiza que el sistema, las herramientas y los procesos estén digitalizados y se actualicen constantemente para cumplir con los nuevos requisitos en términos de información gráfica y de otro tipo. Toda la información está contenida en un modelo de edificio en 3D que está totalmente sincronizado entre todas las personas colaboradoras.



Fuente de la imagen: [Herdyana & Suroso 2023](#) (CC BY-SA 4.0)

1.2 Entender la «B» de BIM

Es importante señalar que «edificio» en BIM no solo significa «un edificio» con cuatro paredes y un techo. El BIM se puede utilizar para:

- Arquitectura y diseño estructural
- Proyectos de infraestructura (carreteras, puentes, túneles)
- Obras de ingeniería civil
- Paisajismo

- Otros proyectos a gran escala

El BIM es un proceso que implica la construcción conjunta de algo, ya sea una estructura, una infraestructura o una instalación compleja.

1.3 Lo que NO es el BIM

Para evitar conceptos erróneos comunes, conviene aclarar lo que no es el BIM:

- ▶ El BIM no se limita al uso de software específico como Autodesk Revit o ArchiCAD.
- ▶ El BIM no es una revolución repentina que sustituya todos los procesos existentes de la noche a la mañana; más bien, es una evolución que requiere una integración gradual
- ▶ El BIM no está diseñado únicamente para grandes proyectos o grandes empresas.

El BIM es una metodología que puede implementarse —también en pymes— utilizando diversas herramientas de *software*, y representa una evolución de las prácticas de construcción existentes más que una revolución completa.

1.4 Niveles de madurez del BIM

El proceso de modelización de la información de la construcción puede describirse mediante «niveles de madurez» que indican el grado de colaboración digital:

- ▶ Nivel 0: Sin colaboración —solo dibujo CAD en 2D, intercambio de información en papel.
- ▶ Nivel 1: Colaboración parcial: combinación de CAD 2D y 3D, intercambio electrónico de datos.
- ▶ Nivel 2: Colaboración plena: todas las partes utilizan modelos 3D; los datos, por ejemplo, para el cálculo del presupuesto, se comparten a través de un entorno de datos común.
- ▶ Nivel 3: Integración total: modelo de proyecto único y compartido, integración de datos del ciclo de vida.

La mayoría de las pymes operan actualmente entre el nivel 0 y el nivel 1. El objetivo de esta formación es ayudar a las pymes a avanzar hacia el nivel 2.

2. Componentes clave del BIM

2.1 Modelos y objetos BIM

Modelo BIM: Un modelo BIM puede considerarse como una colección de objetos BIM que están conectados y sincronizados. El modelo representa todo el proyecto de edificio o infraestructura en formato digital.

Objeto BIM: Un objeto BIM es una representación digital de las características físicas de un producto o de sus materiales. Está diseñado para simular el comportamiento del objeto real en relación con la estructura del edificio.

Un objeto BIM combina dos elementos esenciales:

- Geometría del producto: tiene el aspecto del objeto real y puede visualizarse y colocarse como si estuviera in situ.
- Información del producto: información técnica, materiales, color, acabados, certificaciones, especificaciones y datos de la empresa que fabrica el producto.
- Entre los tipos de objetos BIM se incluyen:
 - Objetos genéricos (de biblioteca): se utilizan en la fase de diseño como marcadores de posición hasta que se especifican los productos reales (p. ej., *un marcador de posición de puerta estándar*).
 - Objetos específicos: productos totalmente especificados tal y como los ofrece la empresa que lo fabrica (p. ej., *el modelo de puerta cortafuegos de una marca concreta*).
 - Componentes: productos de construcción con formas fijas, como ventanas, puertas y accesorios sanitarios (p. ej., *ventana, accesorio sanitario*).

- Objetos en capas (materiales): productos sin forma ni tamaño fijos, como techos, cubiertas y moquetas (p. ej., *moqueta, membrana de cubierta*)

2.2 Modelos federados

Un modelo federado es un modelo de información de la construcción combinado que se ha compilado al unir varios modelos específicos de diferentes oficios en uno solo. Estos modelos independientes proceden de diferentes oficios de la construcción:

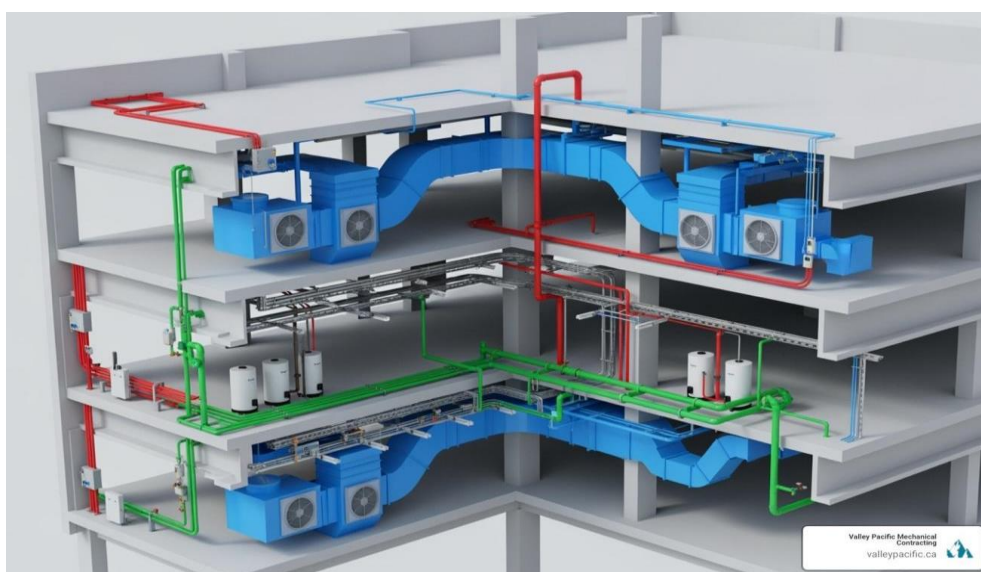
- Arquitectura
- Ingeniería estructural
- Ingeniería de instalaciones (mecánica, electricidad y fontanería)
- Contratistas
- Subcontratistas
- Compañía distribuidora

Para una pequeña empresa contratista, esto significa poder revisar de manera conjunta los modelos del equipo de arquitectura y del equipo de ingeniería, con el fin de identificar posibles problemas antes de que se conviertan en inconvenientes costosos durante la obra.

Entre las ventajas de los modelos federados se incluyen:

- La visualización de todos los modelos en una sola herramienta permite una coordinación y un desarrollo del diseño más tempranos
- Mejora en la prevención y detección de conflictos gracias al suministro y la consolidación regulares de datos
- Mejora de las estimaciones gracias a la disponibilidad de más datos desde el principio

Los problemas se pueden resolver y las decisiones de diseño se pueden tomar antes de que comience el trabajo en la obra. La información que falta, las inconsistencias y la asignación insuficiente de recursos se pueden identificar en una fase temprana.



Fuente de la imagen: [Valleypacific](https://valleypacific.ca) (CC BY-NC 4.0)

2.3 La información en el BIM

La información en BIM proviene de los datos. Cuando los datos se procesan, interpretan, organizan, estructuran y contextualizan, proporcionan información. La información se utiliza a lo largo de todo el ciclo de vida de un proyecto de edificio o infraestructura:

- Fase de diseño: programación del espacio, coordinación del diseño, especificaciones de diseño.
- Fase de construcción: planificación, actividades de construcción, puesta en servicio.
- Fase de funcionamiento: gestión de instalaciones, mantenimiento, reconstrucción, renovación, desmantelamiento.

La información en BIM se puede clasificar en tres tipos:

GRÁFICA	NO GRÁFICA	DOCUMENTOS
Representaciones visuales en 2D o 3D	Atributos digitales de los objetos 2D o 3D: Nombre Tipo Descripción Material	Especificaciones Calendarios Presupuestos Manuales de productos Certificados Garantías Contratos Plan de ejecución BIM (BEP) Requisitos de información para empresas (EIR)

2.4 Desarrollo del modelo: PIM, AIM, AS-BUILT

Los modelos BIM evolucionan a lo largo del ciclo de vida del proyecto:

PIM (Modelo de Información del Proyecto): Proporciona toda la información de construcción y gestión necesaria para la toma de decisiones, incluyendo presupuestos, compras y costes. Incluye el modelo de diseño y la implementación del modelo final.

AIM (Modelo de información de activos): aborda la fase de operaciones y mantenimiento del edificio.

Modelo AS-Built: contiene todas las modificaciones realizadas durante la ejecución del proyecto, representando el producto final tal y como se ha construido.

3. Normas y marcos BIM

3.1 Norma ISO 19650

La norma ISO 19650 es la norma internacional para la gestión de la información a lo largo del ciclo de vida de un activo construido mediante el modelado de información de construcción. Proporciona un marco para:

- Los procesos de gestión de la información
- Funciones y responsabilidades
- Requisitos de información
- Entrega e intercambio de información

En enero de 2025, se publicó la norma ISO 19650-6:2025, centrada en la gestión de la información sobre salud y seguridad en el contexto del BIM. Esta nueva parte hace hincapié en la importancia de la información estructurada para la salud y la seguridad en el trabajo a lo largo de todo el ciclo de vida. La norma garantiza que todas las personas que participan en el proyecto trabajen dentro de un marco coherente, lo que mejora la colaboración y reduce los errores.

Para las pymes, la norma ISO 19650 es importante porque gran parte de la clientela, especialmente en el sector público, exigen que la información se entregue de acuerdo con esta norma. Comprender sus principios ayuda a las pymes a cumplir con estos requisitos sin necesidad de leer la norma completa.

Si bien la norma ISO 19650 define el marco organizativo y los procesos para la gestión de la información mediante BIM, la implementación técnica del intercambio de datos depende en gran medida de los estándares abiertos. El más importante de ellos es el IFC (Industry Foundation Classes), un estándar abierto e internacional que permite la interoperabilidad entre diferentes aplicaciones de *software* BIM, lo que permite intercambiar modelos sin pérdida de información. Para las pymes de la construcción, el cumplimiento de IFC garantiza que los modelos BIM creados en una aplicación de *software* puedan abrirse, visualizarse y trabajarse en otra aplicación, lo que respalda el enfoque colaborativo exigido por la norma ISO 19650. El módulo de formación 4 ofrece una introducción detallada a IFC y a las normas de interoperabilidad.

3.2 Nivel de desarrollo (LOD) y nivel de necesidad de información (LOIN)

Concepto tradicional: Nivel de desarrollo (LOD)

El nivel de desarrollo (LOD) define el grado en que se ha desarrollado la geometría y la información de los elementos en las distintas fases del proyecto. Comprender el LOD ayuda a los equipos de proyecto a comunicarse con claridad sobre qué información se requiere en cada fase:

LOD 100: Modelo de diseño preliminar: representaciones conceptuales

LOD 200: Modelo de diseño: geometría e información aproximadas

LOD 300: Modelo de aprobación: geometría precisa e información detallada

LOD 400: Modelo de ejecución: información de fabricación y montaje

LOD 500: Modelo de obra terminada: representación verificada del activo completado

Las especificaciones de LOD ayudan a garantizar que se proporcione el nivel adecuado de detalle en el momento oportuno, evitando tanto el desarrollo insuficiente como el desarrollo excesivo e innecesario de los elementos del modelo. Un ejemplo: en un pequeño proyecto de renovación, esto le ayuda a especificar que necesita las dimensiones de las puertas y las clasificaciones de resistencia al fuego (para cumplir con la normativa de seguridad), pero que no necesita datos detallados sobre la garantía del fabricante.

Evolución: Nivel de necesidad de información (LOIN)

La norma ISO 19650 introduce el concepto de Nivel de Necesidad de Información (LOIN), que va más allá del concepto tradicional de LOD. El LOIN se desarrolló para definir con mayor precisión qué información se necesita realmente en función del propósito específico previsto. Este principio sigue la máxima: «Tanto como sea necesario, tan poco como sea posible». En términos concretos, esto significa:

Solo debe proporcionarse la información que sea realmente necesaria para una tarea específica del proyecto.

Los detalles superfluos se ignoran deliberadamente.

Un LOIN completo comprende tres dimensiones:

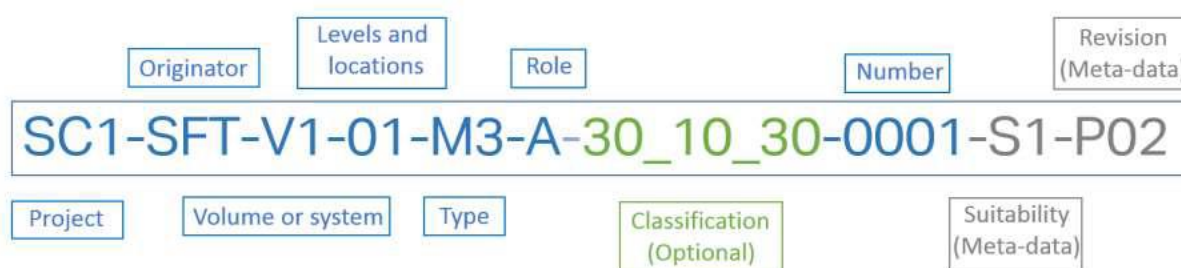
- Información geométrica: ¿qué nivel de detalle tiene la forma o la ubicación del objeto en el modelo?
- Información alfanumérica (es decir, propiedades y datos como el tipo de material, las dimensiones o el coste): ¿qué propiedades, parámetros o clasificaciones tiene el objeto?
- Información documental (referida a documentos adjuntos como certificados o manuales de producto): ¿Existen documentos, certificados o pruebas asociados?

Importancia práctica:

El cambio de LOD a LOIN ayuda a evitar la «sobrecarga de información», en la que los modelos BIM se crean con demasiado detalle sin tener en cuenta qué información específica necesita realmente cada parte interesada. Siguiendo los principios de LOIN, los diferentes elementos de un mismo proyecto pueden tener distintos requisitos de información en función de cómo se vayan a utilizar.

3.3 Convenciones de nomenclatura de archivos (EN ISO 19650)

A medida que se comparte más información de forma digital, el uso de convenciones de nomenclatura estructuradas, coherentes y comprensibles se vuelve vital. La norma EN ISO 19650 proporciona enfoques estandarizados para la nomenclatura de archivos que garantizan que estos puedan identificarse, clasificarse y gestionarse fácilmente a lo largo del ciclo de vida del proyecto.



Fuente de la imagen: proyecto E+ ICONS, p. 52.

4. Funciones y responsabilidades en BIM

4.1 Colaboración tradicional frente a BIM

En los proyectos de construcción tradicionales, la información se compartía directamente de una persona a otra, lo que a menudo provocaba problemas de control de versiones y malentendidos. El BIM promueve el uso de un Entorno de Datos Común para mejorar el flujo de información entre todas las personas que participan.

El intercambio de información relacionada con los proyectos de construcción es aún más eficaz cuando se implementan estándares abiertos desde el principio, lo que garantiza que quienes participan puedan acceder a la información y utilizarla independientemente de su plataforma de *software*.

3.4.2 Funciones clave del BIM

El BIM introduce nuevos procesos y tecnologías que requieren personal especializado. Las funciones específicas del BIM más comunes en una empresa son:

Responsable de BIM:

- Responsable de la implementación generalizada de los procesos BIM y la tecnología relacionada
- Establece los objetivos organizativos para el BIM
- Investiga herramientas, gestiona licencias y supervisa la instalación y el uso
- Implementa los procesos y flujos de trabajo BIM
- Garantiza que las normas se apliquen correctamente
- Imparte formación y mantiene a la organización al día sobre las novedades en BIM

Coordinación BIM:

- Responsable de BIM del equipo o del proyecto
- Coordina el proyecto BIM y el equipo
- Proporciona apoyo técnico y orientación al equipo del proyecto
- Gestiona el contenido del proyecto y establece los protocolos BIM
- Administra y mantiene la gestión de modelos, así como la información confidencial

Modelación BIM (personal técnico BIM):

- Persona experta en modelado con *software* BIM con conocimientos especializados (arquitectura, estructura, instalaciones técnicas de edificios)
- Desarrolla los modelos de acuerdo con los requisitos del proyecto
- Colabora con otras disciplinas para los cambios de diseño y del modelo
- Crea contenido y elabora documentación a partir del Entorno Común de Datos
- Es importante señalar que, en organizaciones más pequeñas, algunas de estas responsabilidades pueden recaer en la misma persona.

5. Plan de ejecución BIM (BEP)

5.1 ¿Qué es un Plan de Ejecución BIM?

Un Plan de Ejecución BIM (BEP) es un documento de directrices que constituye la base de la colaboración BIM. Define:

- Las estructuras organizativas y las responsabilidades
- El marco para el rendimiento del BIM
- Los procesos y requisitos para la colaboración
- Un enfoque unificado para estructuras y elementos

5.2 Etapas del desarrollo del BEP

Antes de desarrollar un BEP, la parte contratante define sus requisitos de información en un documento denominado Requisitos de Información de la Empresa (EIR). El EIR especifica qué información necesita la clientela, en qué formato y en qué hitos del proyecto. Esta es la base para el desarrollo del BEP:

Paso 1: Definir la información del proyecto

- Información básica del diseño
- Miembros principales del equipo y gestores BIM
- Hitos del proyecto

Paso 2: Establecer los objetivos BIM del proyecto

- Aumentar la competencia del equipo del proyecto
- Mejorar el rendimiento y la seguridad del proyecto
- Mejorar la calidad del proyecto

Paso 3: Elegir los usos del BIM

- Fase de planificación (modelización y análisis de la situación)
- Fase de diseño (coordinación 3D)
- Fase de construcción (fabricación)
- Fase operativa (supervisión del mantenimiento)

5.3 BEP previo al contrato y posterior al contrato

BEP precontractual: Una respuesta directa a los Requisitos de Información de la Empresa (EIR). Incluye:

- Plan de ejecución del proyecto en el que se exponen las capacidades, competencias y experiencia de los posibles proveedores
- Objetivos de colaboración y modelización de la información
- Hitos del proyecto alineados con el programa del proyecto
- BEP posterior al contrato: Establece cómo se proporcionará la información requerida en los EIR. Incluye:
- Detalles de gestión (funciones, responsabilidades, hitos, entregables, estrategia de encuestas y uso de datos históricos)
- Planificación y documentación (plan de implementación revisado, procesos acordados para la colaboración y el modelado, matriz de responsabilidades, plan de entrega de tareas e información maestra)
- Métodos y procedimientos estándar (estrategia de volúmenes, nomenclatura de archivos y capas, tolerancias de construcción, datos de atributos)
- Soluciones informáticas (*software* y formatos de intercambio)

6. Entorno de datos común (CDE)

El Entorno de Datos Común (CDE) es un repositorio central donde se almacena la información del proyecto de construcción. Permite a quienes participan en el proyecto acceder a una única fuente de toda la información del proyecto, lo que facilita una colaboración eficaz. Por lo tanto, el flujo de trabajo BIM está estructurado, y las decisiones, responsabilidades y procesos son transparentes en cuanto a autoría y tiempo. El acceso a la información puede restringirse de modo que las personas participantes solo puedan acceder a las partes del proyecto en las que están involucrados durante determinadas fases.

Cómo funciona un CDE:

Un Entorno Común de Datos funciona más o menos como un sistema de carpetas compartidas que el equipo organiza libremente. Esto permite compartir documentos y modelos. Cada acceso queda registrado.

Facilitado por un servidor en línea o un sistema basado en la nube.

Seguridad de los datos garantizada mediante el acceso basado en cuentas.

Se pueden asignar diferentes niveles de acceso a los distintos usuarios. La administración controla el tipo de operaciones que cada usuario concreto puede realizar sobre cualquier contenido de la carpeta; por ejemplo, que una arquitecta o arquitecto pueda ver y descargar elementos de la carpeta «Estructural», pero no pueda editar el contenido.

Estados del flujo de trabajo del CDE:

- **En curso:** información en desarrollo
- **Compartido:** información compartida para su revisión o coordinación

- **Publicado:** información autorizada para su uso
- **Archivo:** información histórica del proyecto

Características principales del CDE:

- Control de versiones: se conservan las versiones anteriores para realizar un seguimiento de los cambios.
- Sistemas de notificación: se notifica a los usuarios de las actualizaciones.
- Acceso multiplataforma: Disponible en ordenadores de sobremesa, tabletas y teléfonos inteligentes.
- Detección de conflictos (dependiendo de la plataforma o el *software* utilizado): la detección de conflictos identifica dónde los modelos de las diferentes disciplinas entran en conflicto entre sí, de modo que no haya solapamientos de elementos de un modelo con los de otros. Esto garantiza que todos los aspectos funcionen en perfecta armonía y no haya incompatibilidades.

El CDE permite a los usuarios comunicarse directamente con los miembros pertinentes del equipo. La mayoría de las funciones del CDE también ofrecen la posibilidad de crear «Tareas» y «Listas de tareas pendientes». Esto informa a otras personas de las tareas que pueden tener que realizar, además de indicarles el porcentaje de trabajo completado.

7. Beneficios y retos del BIM para las pymes

7.1 Beneficios del BIM

El BIM mejora significativamente la colaboración y elimina los problemas relacionados con el uso de sistemas diferentes por parte de las distintas partes (interoperabilidad). Cada parte utiliza el mismo modelo de edificio para su parte del trabajo y su contribución; en esencia, el edificio se construye virtualmente antes de construirse in situ.

La principal ventaja es el ahorro de costes a largo plazo a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto. Aunque la adopción de las prácticas BIM supone inicialmente un esfuerzo, un tiempo y unos costes considerables, la inversión se amortiza gracias a:

Menos errores y, por lo tanto, menos revisiones necesarias.

Mejor coordinación entre disciplinas.

Estimaciones de costes más precisas.

Mejora de la planificación y reducción de los retrasos.

Mejor gestión de las instalaciones durante las operaciones.

7.2 ¿Por qué deberían las pymes adoptar el BIM?

Existen varias razones de peso para que las pymes adopten el BIM:

Requisito legal: La Directiva de Contratación Pública de la Unión Europea de 2014 exige que todos los países de la UE modifiquen su legislación para recomendar el uso del BIM en todos los contratos públicos. Esto hace que la adopción del BIM sea necesaria para las empresas que deseen competir por obras del sector público. A partir de 2026, se está preparando una revisión exhaustiva de las directivas de contratación pública de la UE:

En septiembre de 2025, el Parlamento Europeo aprobó una resolución sobre la revisión del marco de contratación pública, haciendo hincapié en la digitalización, la sostenibilidad y la resiliencia.

La consulta sobre la revisión se prolongará hasta enero de 2026, y se espera una propuesta de directiva para 2026.

El Grupo de Trabajo BIM de la UE (noviembre de 2025) recomienda que «los requisitos mínimos para el BIM se establezcan a nivel de la UE (por ejemplo, el openBIM independiente del fabricante sea obligatorio para todos los

proyectos de nueva construcción y renovación de edificios públicos e infraestructuras valorados en más de 25 millones de euros)».

Varios países de la UE ya han introducido mandatos nacionales sobre BIM: Italia ha hecho obligatorio el diseño BIM a partir de 2026 para la mayoría de los proyectos públicos, Alemania ha introducido una estrategia federal para el BIM en los edificios federales y la República Checa tiene previsto un mandato sobre BIM para 2027. (Fuentes: Documento de posición del Grupo de Trabajo BIM de la UE, noviembre de 2025; Tren Legislativo del Parlamento Europeo, diciembre de 2025).

Reducción de costes y retrasos:

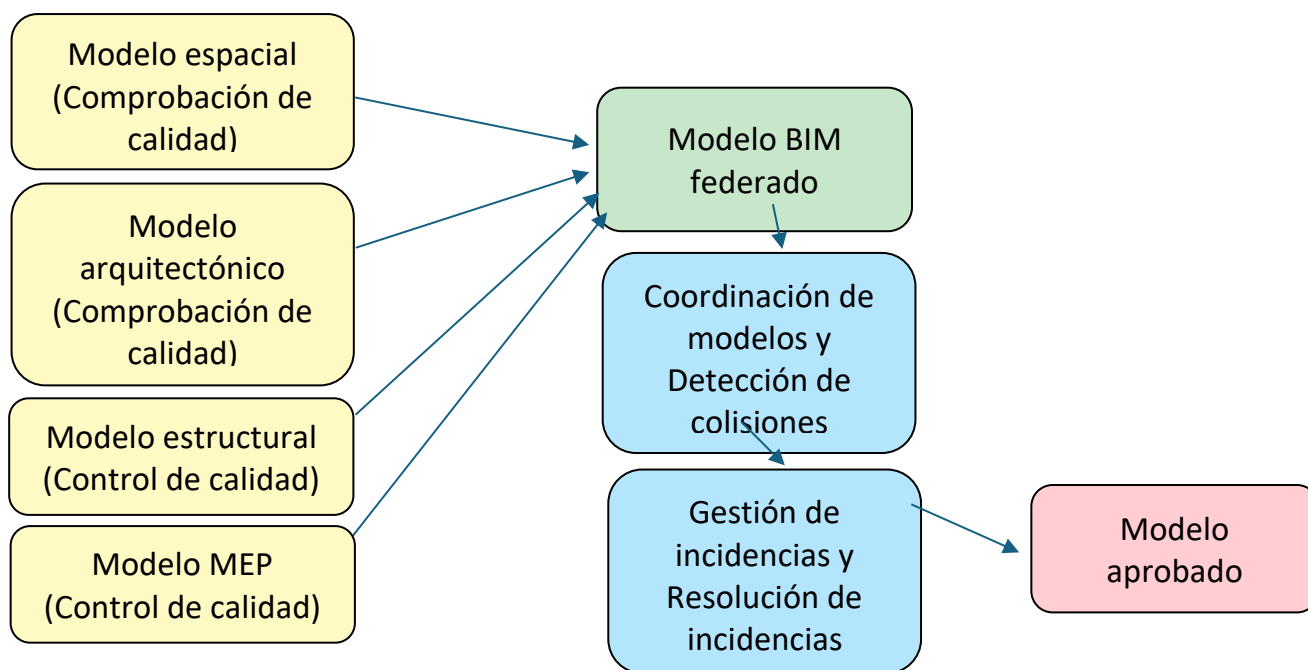
Pedidos de materiales: la información del modelo permite realizar pedidos precisos y oportunos.

Ejecución del proyecto: se supervisa de acuerdo con el plan; los retrasos se pueden predecir con antelación para permitir la activación de planes de contingencia que subsanen el retraso.

Colaboración: todos trabajan en el mismo modelo virtual actualizado; las revisiones se actualizan al mismo tiempo para todos; los errores pueden detectarse en la fase de diseño en lugar de en la de construcción.

Documentación: toda la información (planos, bases de datos, etc.) se encuentra en un único lugar, que se actualiza de forma sistemática. La facilidad de acceso en cualquier fase del proyecto de construcción ahorra tiempo.

Mayor garantía de calidad: La garantía de calidad está integrada en todos los procesos y fases del BIM. El proceso de desarrollo del modelo BIM incluye controles de calidad en cada fase.



Fuente de la imagen: Ilustración propia del autor, creada mediante generación de imágenes con IA (MS Copilot)

Soluciones técnicas y organizativas: La detección de conflictos al combinar modelos (por ejemplo, arquitectónicos y eléctricos) permite identificar y evitar posibles problemas antes de que comience la construcción.

Mejora de la gestión de proyectos: El BIM facilita una mejor gestión de los proyectos a lo largo de todo el ciclo de vida de un edificio, desde su concepción hasta su explotación y eventual desmantelamiento.

7.3 Retos para las pymes

Aunque el BIM ofrece importantes ventajas, las pymes se enfrentan a retos específicos a la hora de adoptarlo:

- Inversión inicial en software, hardware y formación.
- Necesidad de desarrollar nuevas habilidades y competencias.
- Cambios en los flujos de trabajo y procesos establecidos.
- Tiempo necesario para alcanzar la competencia.
- Coordinación con colaboradores y colaboradoras que pueden encontrarse en diferentes fases de adopción del BIM.

7.4 Primeros pasos prácticos para la adopción del BIM en las pymes

Para las pequeñas y medianas empresas que comienzan a introducir el BIM, se ha demostrado que un enfoque gradual es eficaz. Los siguientes aspectos pueden servir de guía para un proceso de implementación estructurado:

Adaptación a las necesidades de la empresa: El BIM puede introducirse de manera que refleje las condiciones específicas de la empresa. El alcance y el nivel de aplicación pueden variar en función del tamaño de la empresa, los tipos de proyectos y los recursos disponibles.

Adquisición de conocimientos básicos: Un conocimiento básico del BIM y de sus posibles beneficios entre el personal clave puede facilitar el proceso de introducción. Las jornadas informativas, los talleres o las actividades de formación pueden constituir un punto de partida adecuado.

Evaluación del punto de partida: una revisión inicial de las competencias y los procesos de trabajo existentes puede ayudar a identificar las necesidades de desarrollo y a definir un nivel realista de adopción del BIM.

Comenzar con proyectos piloto: Se puede adquirir experiencia inicial de manera eficaz a través de un proyecto piloto manejable. Esto permite poner a prueba los métodos de trabajo y hacer visibles los beneficios potenciales sin imponer exigencias excesivas a las estructuras existentes.

Formación del personal y desarrollo de competencias: Las medidas de formación específicas relacionadas con el software BIM y los flujos de trabajo pueden apoyar la implementación práctica. Dependiendo de los requisitos, se pueden utilizar tanto formatos de aprendizaje internos como oportunidades de formación externas.

Definición de estructuras y procesos: unos flujos de trabajo, convenciones de nomenclatura y procedimientos de coordinación claramente definidos contribuyen a que las aplicaciones BIM sean transparentes y eficientes dentro de la organización. Estas estructuras deben reflejar las necesidades operativas de la empresa.

Aprender del intercambio y la cooperación: El intercambio con otras empresas puede facilitar el proceso de introducción. La experiencia práctica de otras y otros profesionales suele proporcionar una orientación útil para la implementación.

Uso de plantillas y estándares existentes: Los estándares, plantillas y bibliotecas de objetos disponibles pueden simplificar el proceso de implementación y reducir el esfuerzo necesario para desarrollar soluciones específicas para la empresa.

La experiencia demuestra que un mayor uso del BIM suele contribuir a mejorar la ejecución de los proyectos. Al mismo tiempo, cada organización tiene un nivel adecuado de aplicación del BIM que equilibra el esfuerzo y los beneficios. Por lo tanto, el objetivo no es alcanzar el mayor nivel posible de sofisticación del BIM, sino implementar el BIM de una manera que respalde eficazmente las necesidades empresariales y los requisitos de la clientela.

Caso práctico

Implementación total de BIM en un proyecto de construcción sueco

Antecedentes del proyecto

El proyecto Celsius en Suecia es un proyecto de construcción que se propuso adoptar el BIM en su totalidad mediante la implementación de tecnologías BIM en todas las fases del proyecto para construir un edificio de oficinas y laboratorios en el Parque Científico de Uppsala, Suecia. El edificio abarcaba 12 000 metros cuadrados distribuidos en 6 plantas, con un presupuesto de aproximadamente 45 millones de euros. Este proyecto implementó un enfoque BIM «integral» en el que el modelo 3D era el documento legalmente vinculante, eliminando por completo los planos tradicionales en papel en 2D. El trabajo de diseño del proyecto comenzó en 2017, la construcción se inició en 2018 y las obras finalizaron en noviembre de 2020.

El reto para las pymes

Las personas trabajadoras tienden entonces a recurrir a métodos de trabajo tradicionales (no BIM) en momentos de gran presión (por ejemplo, utilizando planos en papel tradicionales).

Preocupaciones por los costes adicionales de TI, por ejemplo, para las licencias de software.

Enfoque de implementación del BIM

La empresa de gestión de la construcción adoptó un enfoque estratégico para apoyar la participación de las pymes:

Las personas que trabajan en la obra dejaron de ser meros consumidores de planos 2D estáticos para convertirse en creadores y consumidores de información en BIM (planos, vistas, secciones, información de productos, etc.). También se les dio la posibilidad de crear vistas 3D para visualizar la información de la forma que les resultara más adecuada.

La plataforma BIM basada en la nube (StreamBIM) proporcionó un acceso móvil y fácil de usar in situ para todo el equipo.

Los costes de las licencias de software se incluyeron en el presupuesto del proyecto, lo que eliminó la carga financiera para las pequeñas empresas.

Se impartió formación y capacitación en la obra para involucrar a la plantilla.

Se retuvieron deliberadamente los planos en papel para fomentar la adopción de la tecnología digital.

Reuniones de coordinación semanales con actualizaciones del modelo en tiempo real.

Resultados y beneficios para las pymes

Ejecución del proyecto: finalizado a tiempo y por debajo del presupuesto a pesar del enfoque digital radical. Por ejemplo, los costes logísticos del proyecto disminuyeron gracias a la reducción del número de entregas en la obra en un 80 % (Gharaibeh 2022, p. 523) en comparación con un proyecto similar en la misma zona. Esto fue posible porque el BIM facilitó los cálculos de datos cuantitativos en una fase más temprana del proyecto, lo que permitió una mejor planificación.

Satisfacción del equipo: Una encuesta posterior al proyecto lo calificó como el mejor proyecto de construcción de Suecia en cuanto a calidad, según los comentarios de los trabajadores.

Comunicación y coordinación: Las partes subcontratadas podían ver en qué estaban trabajando otras disciplinas, lo que facilitó la coordinación y redujo los conflictos.

Eficiencia: Una única fuente de información (BIM basado en la nube) eliminó la duplicación de trabajo (por ejemplo, la elaboración de múltiples planos).

Reconocimiento como mejor práctica: El proyecto Celsius ganó el premio buildingSMART en 2020 por su innovador proceso de construcción digitalizado.

Factores clave de éxito

- Apoyo financiero: inclusión de los costes de software y formación en el presupuesto del proyecto.
- Formación: La formación in situ creó un entorno de aprendizaje propicio.
- Requisitos claros: el uso obligatorio del BIM garantizó el compromiso de todas las partes.
- Herramientas fáciles de usar: un potente software móvil de visualización BIM que permitió a las personas que trabajaban en la obra crear ellos mismas la información de construcción que necesitaban para realizar el trabajo in situ.
- Liderazgo y gestión sólidos por parte de la empresa gestora responsable de implementar el enfoque Total BIM.

Recursos adicionales

THE B1M (2015): MADUREZ BIM /// TAN FÁCIL COMO 1, 2, 3, [HTTPS://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?V=8ZN0WYDYBQI](https://www.youtube.com/watch?v=8ZN0WYDYBQI)

PLANNERLY - LA PLATAFORMA DE GESTIÓN BIM (2019): CREACIÓN DE UN PLAN DE EJECUCIÓN BIM (BEP), [HTTPS://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?V=224AYKLJAJU](https://www.youtube.com/watch?v=224AYKLJAJU)

Ejercicios

Elija la mejor respuesta para cada pregunta. La clave de respuestas se encuentra al final de esta sección.

1. El BIM se limita al uso de programas de *software* específicos como Autodesk Revit o ArchiCAD.

- A) Verdadero
- B) Falso

2. Según la norma ISO 19650, ¿cuál es la definición de BIM?

- A) Un *software* de modelado 3D para arquitectos
- B) El uso de una representación digital compartida de un activo construido para facilitar los procesos de diseño, construcción y explotación
- C) Una herramienta de gestión de proyectos para calendarios de construcción
- D) Un método de estimación de costes para proyectos de construcción

3. ¿Cuáles son los dos elementos esenciales que combina un objeto BIM?

- A) Planos en 2D y visualización en 3D
- B) Geometría del producto e información del producto
- C) Estimaciones de costes y calendarios de construcción
- D) Diseño arquitectónico y análisis estructural

4. El _____ es un repositorio central donde se almacena la información de los proyectos de construcción, lo que permite a todas las personas participantes acceder a una única fuente de información del proyecto.

- A) Modelo de información de la construcción
- B) Entorno de datos común
- C) Plan de ejecución BIM
- D) Modelo federado

5. ¿Cuál es la principal diferencia entre el nivel de desarrollo (LOD) y el nivel de necesidad de información (LOIN)?

- A) El LOD es más reciente que el LOIN
- B) El LOIN define las necesidades de información en función de un propósito específico, mientras que el LOD indica niveles generales de detalle
- C) Son exactamente el mismo concepto con nombres diferentes
- D) El LOD solo se utiliza en EE. UU., mientras que el LOIN solo en Europa

6. Un _____ es un modelo de información de construcción combinado que se elabora al unir varios modelos específicos de diferentes disciplinas en uno solo.

- A) Objeto BIM
- B) Modelo federado
- C) Modelo de obra terminada
- D) Modelo de información del proyecto

7. ¿Cuál es la función principal de un coordinador BIM?

- A) Crear modelos 3D para todas las disciplinas de la construcción
- B) Coordinar el proyecto y el equipo BIM, gestionar el contenido y proporcionar asistencia técnica
- C) Adquirir licencias de *software* BIM para la organización
- D) Realizar únicamente la detección de colisiones

8. Uno de los principales retos a los que se enfrentan las pymes al adoptar el BIM es el _____, que incluye los costes de *software*, *hardware* y formación.

- A) Ahorros operativos a largo plazo
- B) La inversión inicial
- C) La mejora de la colaboración
- D) La reducción de los retrasos en los proyectos

Respuestas

1) B 2) B 3) B 4) B 5) B 6) B 7) B 8) B

Referencias

BIMconnect (2020) *¿Qué es BIM?* Disponible en: <https://bimconnect.org/en/> (Consultado el 26 de febrero de 2026).

Borrmann, A., König, M., Koch, C. y Beetz, J. (2018) *Modelado de información de la construcción: fundamentos tecnológicos y prácticas del sector*. Springer.

buildingSMART International (s. f.) *openBIM: ¿qué es y por qué lo necesitamos?* Disponible en: <https://www.buildingsmart.org/openbim-what-is-it-and-why-do-we-need-it/> (Consultado el 23 de abril de 2026).

Departamento de Empresa, Innovación y Competencias (2011) *Documento estratégico del Grupo de Trabajo sobre Modelado de Información de la Construcción (BIM)*. Gobierno del Reino Unido.

Grupo de Trabajo BIM de la UE (2025) *Documento de posición sobre BIM para la contratación pública*. Disponible en: <https://eubim.eu/> (Consultado el 26 de febrero de 2026).

Parlamento Europeo (2025) *Resolución sobre la contratación pública*. Disponible en: <https://www.europarl.europa.eu/legislative-train/theme-a-new-plan-for-europe-s-sustainable-prosperity-and-competitiveness/file-public-procurement-act?sid=9601> (Consultado: 26 de febrero de 2026).

Gharaibeh, L. et al. (2022) *Adoptar el BIM en su totalidad: un estudio de caso de Total BIM*. Entorno construido inteligente y sostenible. Disponible en: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/sasbe-06-2022-0124/full/html> (Consultado el 26 de febrero de 2026).

Herdiana, H. y Suroso, A. (2023) *El impacto del modelado de información de edificios 5D en el rendimiento en tiempo y costes de la construcción*. SINERGI, 27, p. 393. Disponible en: <https://doi.org/10.22441/sinergi.2023.3.010> (Consultado el 26 de febrero de 2026).

ISO 19650-6 (2025) *Información sobre salud y seguridad. Parte 6 de la serie ISO 19650*. Disponible en: <https://www.iso.org/standard/82705.html> (Consultado el 26 de febrero de 2026).

MDPI Buildings Journal (2025) *Descifrando la norma ISO 19650 a través del modelado de procesos para la gestión de la información*. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2075-5309/15/3/431> (Consultado el 26 de febrero de 2026).

Operam Academy (2025) *ISO 19650: Una actualización sobre la actualización: lo que nos dijo el sector en DCW 2025*. Disponible en: <https://insights.operamacademy.com/iso-19650-an-update-on-the-update-what-the-industry-told-us-at-dcw-2025> (Consultado el 26 de febrero de 2026).

Park, S. y Kim, I. (2015) *Control de calidad basado en BIM para cuestiones de seguridad en las fases de diseño y construcción*. International Journal of Architectural Research: ArchNet-IJAR, 9, pp. 111–129. Disponible en: <https://doi.org/10.26687/archnet-ijar.v9i3.881> (Consultado el 26 de febrero de 2026).

Revizto (2026) *¿Qué es la norma ISO 19650 y por qué deberían las empresas estadounidenses preocuparse por las normas BIM?* Disponible en: <https://revizto.com/en/what-is-iso-19650-bim-standards/> (Consultado el 26 de febrero de 2026).

Real Institución de Peritos Tasadores (2017) *Modelado de información de edificios para gestores de proyectos*.

Organización Internacional de Normalización (2018) *ISO 19650 – Organización y digitalización de la información sobre edificios y obras de ingeniería civil, incluido el modelado de información de edificios (BIM)*. Disponible en: <https://www.iso.org/standard/68078.html> (Consultado el 26 de febrero de 2026).

BIM Deutschland (s. f.) *Nivel de necesidad de información*. Disponible en: <https://www.bimdeutschland.de/bim-wissen/standards-normen-richtlinien/level-of-information-need> (Consultado el 26 de febrero de 2026).

Curso 2:

Modelado de la Información de la Construcción (BIM) para PYMES

Tema 2: Implementación del BIM en las PYMES

Tema 2: Implementación del BIM en las PYMES

Objetivos de aprendizaje, resultados y glosario

Objetivos de aprendizaje

Al finalizar este módulo, el alumnado será capaz de:

- Comprender cómo introducir gradualmente un entorno de datos común en el contexto de una pyme.
- Identificar las herramientas BIM adecuadas en función del tamaño de la empresa, el presupuesto y el tipo de proyecto.
- Implementar un flujo de trabajo BIM sencillo y práctico para las operaciones diarias.
- Aplicar prácticas básicas de interoperabilidad utilizando IFC y la gestión estructurada de archivos.
- Resolver problemas comunes de coordinación e intercambio de datos a los que se enfrentan las pymes.

Resultados del aprendizaje

Al finalizar este módulo, el alumnado será capaz de:

- ▶ Seleccionar soluciones de *software* BIM adecuadas para su empresa.
- ▶ Configurar un entorno de datos común simplificado utilizando herramientas en la nube accesibles.
- ▶ Exportar, compartir y revisar modelos IFC correctamente.
- ▶ Aplicar rutinas básicas de control de versiones y coordinación de modelos.
- ▶ Identificar y resolver problemas comunes de interoperabilidad y colaboración.
- ▶ Desarrollar un plan básico de implementación de BIM adaptado a su pyme.

Glosario

BIM 4D	Integración del modelo 3D con información de planificación temporal, lo que permite visualizar las secuencias de construcción.
BIM 5D	Ampliación del BIM para incluir información de costes vinculada a los elementos del modelo con fines de cálculo de cantidades y elaboración de presupuestos.
Herramienta de creación	<i>Software</i> utilizado para crear y editar modelos BIM (por ejemplo, Autodesk Revit, ArchiCAD, Tekla Structures).
Coordinador BIM (contexto de las pymes)	Persona responsable de gestionar los intercambios de modelos, verificar archivos, organizar reuniones de coordinación y mantener el Entorno Común de Datos.
Visor BIM	<i>Software</i> que permite a los usuarios abrir, revisar, medir y comentar modelos BIM sin editarlos (p. ej., BIM Vision, Autodesk Viewer).
Memoria de cantidades (BOQ)	Lista estructurada de materiales, componentes y cantidades derivada del modelo BIM para la estimación de costes.
Detección de conflictos	Proceso de identificación de conflictos geométricos entre los sistemas de un edificio (por ejemplo, una tubería que cruza una viga), que suele realizarse utilizando herramientas de coordinación como Navisworks.
Plataforma de colaboración en la nube	Entorno en línea utilizado para almacenar, compartir y gestionar archivos de proyectos (por ejemplo, Google Drive, Microsoft OneDrive).
Entorno de datos común (CDE)	Espacio digital compartido donde se almacena, gestiona e intercambia la información del proyecto de forma estructurada.
Gemelo digital (construcción)	Representación digital de un activo físico que integra datos BIM con información en tiempo real, como sensores, sistemas de monitorización o datos operativos.
Convención de nomenclatura de archivos	Método estandarizado para nombrar archivos digitales con el fin de garantizar la claridad, la trazabilidad y el control de versiones.
IFC (Industry Foundation Classes)	Formato de archivo abierto y neutral para el intercambio de datos BIM entre diferentes plataformas de <i>software</i> . Permite la interoperabilidad entre disciplinas.
Interoperabilidad	Capacidad de diferentes sistemas de <i>software</i> para intercambiar e interpretar correctamente los datos compartidos.
Coordinación de modelos	Proceso de revisión, comparación y alineación de modelos de múltiples disciplinas para garantizar la coherencia y evitar conflictos.
Control de versiones del modelo	Gestión sistemática de las actualizaciones sucesivas de un archivo de modelo, garantizando que la versión más reciente quede claramente identificada y que las versiones anteriores se archiven.
Proyecto piloto (implementación de BIM)	Proyecto a pequeña escala seleccionado para probar los flujos de trabajo BIM antes de ampliar la implementación a toda la organización.
Control de versiones	Método para realizar un seguimiento de los cambios en los archivos y evitar la sobrescritura accidental de datos anteriores.
Estructura de desglose del trabajo (WBS)	Descomposición jerárquica de las actividades del proyecto utilizada para la programación y la planificación de costes.

Introducción

Las pequeñas y medianas empresas (pymes) se enfrentan a una presión cada vez mayor para trabajar en entornos de modelado de información de construcción (BIM). De hecho, la clientela solicita modelos digitales, los diseñadores y diseñadoras intercambian archivos 3D y se espera que la parte contratante coordine la información de forma digital. Sin embargo, muchas pymes consideran que la implementación del BIM puede dar lugar a una gestión compleja, costosa y difícil.

Mientras que las organizaciones más grandes suelen contar con departamentos dedicados al BIM, las pymes suelen operar con personal limitado, presupuestos ajustados y una gran presión de tiempo. Por lo tanto, las personas empleadas suelen desempeñar múltiples funciones, lo que les deja poco tiempo para aprender nuevos sistemas. Como resultado, la adopción del BIM a menudo se pospone, se implementa parcialmente o se limita a la visualización básica de modelos sin una colaboración estructurada.

Así pues, uno de los mayores retos para las pymes es la interoperabilidad, es decir, la capacidad de las diferentes plataformas de *software* para intercambiar y utilizar la información de forma eficaz. Por ejemplo, un estudio de arquitectura puede utilizar Autodesk Revit, mientras que una ingeniera o ingeniero estructural trabaja con Tekla Structures y la parte contratante se basa únicamente en planos en PDF. Por lo tanto, sin procedimientos claros y formatos de archivo adecuados, los modelos no se pueden compartir correctamente, se pierden datos durante la exportación y surgen problemas de coordinación. Esto conduce a la duplicación del trabajo, a malentendidos y a costosos errores en la obra.

Otra dificultad habitual es la percepción de que el BIM requiere un *software* costoso y conocimientos técnicos avanzados. En realidad, muchas pymes pueden empezar a implementar el BIM utilizando herramientas asequibles o incluso gratuitas, como SketchUp, FreeCAD o visores de modelos como Bim Vision. El éxito de la implementación del BIM no depende únicamente del *software* utilizado, sino más bien del establecimiento de flujos de trabajo claros, responsabilidades definidas, una gestión estructurada de los archivos y prácticas coherentes de intercambio de modelos.

Por ello, este módulo se centra en la implementación práctica del BIM en las pymes y ofrece una guía clara paso a paso para integrar el BIM en las operaciones diarias. De hecho, el objetivo es ayudar a las pymes a pasar de comprender el BIM conceptualmente a aplicarlo en la práctica. Al finalizar este módulo, el alumnado será capaz de diseñar una estrategia sencilla de implementación del BIM adaptada al tamaño de su empresa, sus recursos y el tipo de proyecto. En lugar de aspirar a una transformación digital completa de forma inmediata, las pymes aprenderán a adoptar el BIM de forma progresiva (paso a paso), reduciendo el riesgo al tiempo que aumentan la eficiencia de la colaboración y la calidad de los proyectos.

La implementación del BIM en las pymes no debe considerarse una revolución tecnológica, sino una mejora estructurada de los flujos de trabajo existentes. Cuando se aplica de forma correcta y gradual, el BIM se convierte en una herramienta de gestión práctica que mejora la coordinación, la transparencia y la competitividad en el mercado de la construcción actual.

1. Estrategia de adopción del BIM para PYMES

La implementación del BIM en una pyme no debe comenzar con la adquisición de múltiples licencias de *software* ni con el rediseño de todos los procedimientos de la empresa. En su lugar, debe partir de un enfoque controlado, estructurado y realista. El objetivo es integrar el BIM en los flujos de trabajo existentes sin perturbar las operaciones diarias ni generar riesgos financieros innecesarios.

Por lo tanto, para las pymes, el éxito de la adopción del BIM depende de la simplicidad, la claridad y la ampliación gradual. En esta sección se presenta una estrategia práctica paso a paso que las empresas pueden aplicar de inmediato.

1.1 Empezar poco a poco: el enfoque del proyecto piloto

Paso 1: Seleccionar un proyecto

La forma más eficaz de introducir el BIM en una pyme es a través de un proyecto piloto. En lugar de aplicar el BIM a todos los proyectos en curso, seleccione un proyecto adecuado que cumpla los siguientes criterios:

- Tamaño y complejidad pequeños o moderados (por ejemplo, renovación residencial, pequeña unidad comercial...).
- Número limitado de disciplinas implicadas (idealmente, 2-3 disciplinas, como arquitectura, estructura y MEP).
- Plazo realista.
- Clientela o personas que colaboran en el proyecto que brinden su apoyo.

De este modo, el proyecto piloto debería servir como campo de pruebas. Esto se debe a que permite a la empresa u organización identificar retos prácticos, evaluar el rendimiento del *software* y perfeccionar los flujos de trabajo sin exponer a toda la organización a riesgos. Al elegir un proyecto de escala pequeña o mediana, se reduce la presión y se permite al equipo responsable centrarse en aprender y mejorar los procesos en lugar de buscar la perfección.

Paso 2: Definir los objetivos internos

Antes de empezar, la empresa debe definir claramente qué quiere conseguir con el BIM. Sin objetivos claros, el BIM puede convertirse en una tarea adicional en lugar de una herramienta de productividad.

Entre los objetivos típicos de las pymes pueden figurar:

- Mejorar la coordinación entre disciplinas.
- Reducir las inconsistencias en los planos.
- Detectar conflictos antes de la construcción.
- Mejorar los cálculos de cantidades.
- Entregar modelos IFC (Industry Foundation Classes) a las clientas y clientes.

Para cada uno de estos objetivos, es esencial definir:

- Qué se va a hacer.
- Con qué frecuencia se hará.
- Cómo se medirá el éxito.

Por ejemplo, exportar y compartir modelos IFC cada dos semanas, lo cual se evaluará en función de la frecuencia de subida de archivos a la carpeta compartida.



Los objetivos deben ser realistas y cuantificables. Por ejemplo:

- Exportar y compartir modelos IFC cada dos semanas.
- Reducir los errores de coordinación en comparación con proyectos anteriores.
- Utilizar el modelo para comprobaciones internas de cantidades.
- Unos objetivos claros ayudan a evaluar si la implementación del BIM es eficaz.

Paso 3: Asignar a una persona responsable

Incluso en las empresas pequeñas, una persona debe encargarse de la coordinación BIM durante el proyecto piloto. Esto no implica contratar a un nuevo empleado o empleada, sino asignar una responsabilidad clara.

La persona responsable debe:

- Supervisar los intercambios de modelos.
- Supervisar el control de versiones.
- Asegurarse de que se sigan las reglas de nomenclatura.
- Organizar revisiones de coordinación.

Sin una persona designada, podría producirse confusión sobre las versiones de los archivos y las responsabilidades. Por lo tanto, es fundamental establecer una responsabilidad clara para garantizar la coherencia.

1.2 Definir una configuración BIM mínima

Las pymes deben evitar los ecosistemas digitales complejos al principio. Una configuración BIM mínima es suficiente. Por lo tanto, seleccione una plataforma de modelado principal en función del presupuesto, la experiencia del personal y la demanda del mercado. Las opciones más comunes incluyen:

- Autodesk Revit.
- ArchiCAD.
- Tekla Structures.
- FreeCAD.

Además, no todo el personal necesita licencias completas de modelado. Los visores IFC suelen ser suficientes para la coordinación y la revisión, como: BIM Vision, Autodesk Viewer o Trimble Connect. Las herramientas de visualización son esenciales, ya que permiten la comprobación de modelos, la medición y la identificación de problemas a bajo coste.

Por último, al principio basta con una sencilla plataforma compartida en la nube; algunas opciones son: Google Drive, Dropbox o Microsoft OneDrive.

2. Herramientas BIM para pymes: qué hay y qué elegir

Para muchas pymes, la selección de herramientas BIM puede ser la parte más confusa de la implementación. Esto se debe a que el mercado ofrece numerosas plataformas con diferentes costes, capacidades y niveles de complejidad. Sin embargo, la adopción exitosa del BIM no depende de elegir el *software* más avanzado, sino de seleccionar herramientas que se adapten al tamaño, las competencias, el presupuesto y el tipo de proyecto de la empresa.

Por ello, esta sección ofrece una visión general práctica de las herramientas BIM disponibles para las pymes y orientación sobre cómo elegir las de forma acertada.

2.1 Herramientas de creación BIM (creación de modelos)

Las herramientas de creación BIM se utilizan para crear modelos 3D que contienen elementos geométricos y ricos en información (paredes, vigas, losas, puertas, etc.). Estas herramientas permiten a los usuarios generar planos, listados y datos directamente a partir del modelo.

A continuación, se enumeran las herramientas de creación más utilizadas:

Autodesk Revit

- Ampliamente utilizada a nivel internacional.
- Eficaz en entornos multidisciplinares (arquitectura, estructura, MEP).
- Gran demanda en el mercado.
- Requiere formación y licencia de pago.
- Adecuado para: pymes que colaboran con grandes empresas o que trabajan en proyectos públicos que requieren entregables en Revit.

ArchiCAD

- Popular en la arquitectura.
- Interfaz fácil de usar.
- Potentes capacidades de visualización.
- Licencia de pago.
- Adecuado para: Pequeños estudios de arquitectura que buscan herramientas de modelado intuitivas.

Tekla Structures

Especializado en modelado estructural y de acero.

Capacidades de modelado muy detalladas.

Funcionalidad avanzada.

Mayor coste y curva de aprendizaje.

Adecuado para: Pymes de ingeniería estructural o contratistas de acero.

FreeCAD

- De código abierto y gratuito.
- Capacidades de modelado paramétrico.
- Compatible con la exportación IFC.
- Interfaz menos intuitiva en comparación con las herramientas comerciales.
- Adecuado para: pymes con un presupuesto limitado o empresas que desean explorar el BIM sin realizar una inversión importante.

¿Cómo deben elegir las pymes?

A la hora de seleccionar un *software* BIM, las pymes deben basar su decisión en criterios prácticos y cuantificables, más que en la popularidad. Entre los factores clave se incluyen la experiencia del personal, los requisitos de la clientela, los costes de licencia y mantenimiento, la disponibilidad de formación y, sobre todo, la interoperabilidad —en particular, la calidad de la exportación e importación IFC—. La herramienta seleccionada debe ajustarse a la capacidad real de la empresa, al tamaño típico de los proyectos y a las necesidades de colaboración.

Para que esta decisión sea más viable, las pymes pueden comparar herramientas utilizando cuatro aspectos clave: nivel de coste, caso de uso típico y calidad de la interoperabilidad IFC. Por ejemplo, herramientas como Autodesk Revit o ArchiCAD se sitúan en un nivel de coste más alto, son más adecuadas para la creación completa de BIM y la colaboración con grandes partes interesadas, y generalmente ofrecen sólidas capacidades IFC (cuando se configuran correctamente). Por el contrario, SketchUp es una opción de menor coste y fácil de usar, adecuada para el diseño conceptual o proyectos sencillos, pero ofrece un rendimiento nativo de IFC limitado a menos que cuente con el apoyo de complementos. FreeCAD representa una alternativa gratuita y de código abierto, adecuada para flujos de trabajo BIM básicos y experimentación, con un soporte moderado de IFC que puede requerir un control y una verificación adicionales por parte de la persona usuaria.

Este tipo de comparación ayuda a las pymes a identificar rápidamente qué herramientas se ajustan a sus necesidades. En lugar de preguntarse qué *software* es el más utilizado, las empresas deben evaluar si sus proyectos requieren realmente la creación completa de modelos BIM, si las personas que colaboran imponen formatos o plataformas específicos, y si el equipo puede, de forma realista, aprender a utilizar y aplicar la herramienta dentro del tiempo y los recursos disponibles.

2.2 Herramientas de coordinación y revisión de modelos

No todo el equipo necesita un *software* completo de creación BIM. En muchos casos, la coordinación y la revisión pueden realizarse utilizando visores específicos o herramientas de detección de colisiones. Estas herramientas permiten a los equipos abrir modelos, comprobar la geometría, identificar colisiones, medir elementos y comunicar problemas sin modificar el modelo original.

Las plataformas de coordinación más comunes son:

- Navisworks: ampliamente utilizado para la detección de colisiones y la coordinación de la construcción.
- Solibri Office: centrada en la comprobación de modelos y la validación basada en reglas.
- BIMcollab: permite el seguimiento estructurado de incidencias entre disciplinas.

Sin embargo, para las pymes que se inician en el BIM, las herramientas gratuitas o de bajo coste pueden ser suficientes en la mayoría de los casos. Algunos ejemplos son:

- BIM Vision: un visor IFC gratuito adecuado para la revisión de modelos.
- Autodesk Viewer: una plataforma web para visualizar modelos sin necesidad de instalar ningún *software*.
- Trimble Connect: ofrece un nivel gratuito con funciones básicas de coordinación.

En consecuencia, estas herramientas permiten a las pymes participar en los procesos de coordinación sin tener que invertir inmediatamente en *software* avanzado. Para muchos proyectos pequeños, la coordinación basada en visores es suficiente.

2.3 Consideraciones de costes para las PYMES

La sostenibilidad financiera es un factor crítico en la implementación del BIM, ya que las pymes deben tener en cuenta las cuotas de suscripción anuales, las posibles actualizaciones de *hardware*, los costes de formación y la pérdida temporal de productividad durante la fase de aprendizaje.

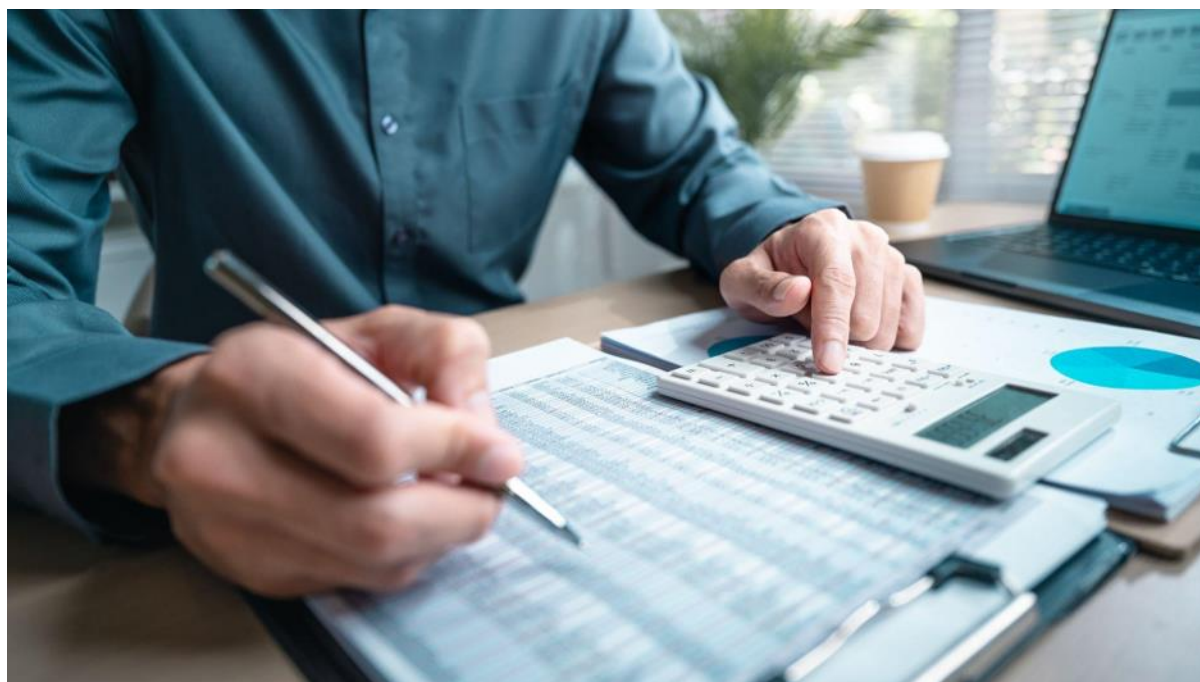
Por lo tanto, es crucial que las pymes cuenten con una estrategia equilibrada cuando decidan implementar herramientas BIM, como por ejemplo:

- Adquirir una licencia principal de modelado.
- Explorar varias herramientas de visualización gratuitas o de bajo coste.
- Una plataforma de colaboración sencilla basada en la nube.

Como resultado, este enfoque reduce los riesgos de inversión al tiempo que permite una participación efectiva en proyectos que utilizan BIM. En lugar de construir un ecosistema digital complejo desde el principio, las pymes deberían centrarse en soluciones asequibles y escalables que puedan crecer al ritmo de la madurez digital de la empresa.

Rangos de costes orientativos

- Licencias de *software* de modelado (p. ej., Autodesk Revit, ArchiCAD): aprox. 1500-3500 € por persona usuaria/año.
- Herramientas de visualización (p. ej., BIM Vision, Autodesk Viewer): a menudo gratuitas o de bajo coste (0-300 € al año).
- Plataformas de colaboración en la nube (p. ej., Google Drive, Microsoft OneDrive): aprox. 50-150 € por persona usuaria/año.
- Actualizaciones de *hardware* (si son necesarias): aprox. 800-2000 € por estación de trabajo.
- **Costes de formación:** aprox. 200–1.000 € por persona (formación inicial).



3. Interoperabilidad

La interoperabilidad se refiere a la capacidad de diferentes sistemas de *software* para intercambiar y utilizar la información correctamente. Para las pymes, la interoperabilidad suele ser el aspecto más crucial y desafiante de la implementación del BIM. Mientras que las grandes organizaciones pueden operar en entornos digitales estandarizados, las pymes colaboran con frecuencia con socios y socias que utilizan plataformas diferentes. Sin procedimientos de intercambio claros, la información valiosa puede perderse, distorsionarse o malinterpretarse.

En la práctica, los problemas de interoperabilidad rara vez se deben únicamente al *software*. Suelen ser el resultado de configuraciones de exportación inconsistentes, una gestión de archivos poco clara o la falta de verificación antes de compartir modelos. Por lo tanto, las pymes deben centrarse en establecer rutinas de intercambio de datos sencillas y fiables, en lugar de confiar únicamente en la tecnología.

3.1 Por qué falla la interoperabilidad en las pymes

Diferentes plataformas de *software*

Un arquitecto puede utilizar Autodesk Revit, un ingeniero estructural puede trabajar en Tekla Structures y un contratista puede utilizar únicamente visores de modelos. Los archivos nativos (.rvt, .pln, .tekla) no son directamente compatibles entre plataformas.

Configuración de exportación incorrecta

Una configuración inadecuada durante la exportación del modelo puede dar lugar a la pérdida de propiedades, a una clasificación incorrecta de los elementos o a distorsiones geométricas.

Falta de control de versiones

Sin reglas de nomenclatura claras y un almacenamiento estructurado de archivos, los equipos pueden trabajar con modelos obsoletos, lo que da lugar a errores de coordinación.

Ausencia de verificación del modelo antes de compartirlo

Las pymes suelen exportar y enviar archivos sin comprobar el modelo exportado en un visor neutral, lo que aumenta el riesgo de que pasen desapercibidos los errores.

3.2 El papel del IFC en la colaboración abierta

El formato abierto más utilizado para el intercambio BIM es Industry Foundation Classes (IFC), ya que permite compartir modelos creados en diferentes plataformas de *software* en un formato neutro y estandarizado.

Por lo tanto, para las pymes, el IFC es esencial porque:

- Reduce la dependencia de una única entidad proveedora.
- Permite la colaboración entre diferentes herramientas.
- Permite revisar los modelos sin el *software* de creación original.
- Garantiza la accesibilidad de los datos a largo plazo.

Sin embargo, la implementación del IFC no elimina todos los retos de interoperabilidad, pero proporciona una base estructurada para el intercambio de datos.

3.3 Flujos de trabajo prácticos con IFC para pymes

Por lo tanto, para mejorar la interoperabilidad, las pymes deberían implementar un flujo de trabajo de intercambio sencillo basado en IFC:

Paso 1

- Configurar los ajustes de exportación:
- Versión IFC correcta (normalmente IFC2x3 o IFC4, dependiendo de los requisitos del proyecto).
- Inclusión de conjuntos de propiedades.
- Clasificación adecuada de los elementos.
- Exportación de cantidades, si es necesario.

Paso 2

Exportar el archivo IFC.

Paso 3

Verificar el archivo IFC (integridad geométrica, visibilidad de los elementos, propiedades básicas, estructura del proyecto).

Paso 4

Coloca el modelo IFC verificado en la carpeta compartida designada e informa a las personas que trabajan en el proyecto.

3.4 Gestión de versiones y prevención de conflictos

La interoperabilidad no es solo técnica, sino también organizativa. Las pymes deben adoptar prácticas claras de control de versiones:

- Incluir el número de versión y la fecha en los nombres de los archivos.
- No sobrescriba las versiones anteriores.
- Mantenga una carpeta de archivo.
- Definir la frecuencia de actualización.
- Ejemplo de nombre de archivo: Project_Structure_V03_2026-03-10.ifc

3.5 Errores comunes de interoperabilidad

Las PYMES deben evitar los siguientes errores:

- No ponerse de acuerdo sobre la versión IFC (IFC 2x3 frente a IFC 4) antes de que comience el proyecto.
- Utilizar diferentes sistemas de coordenadas o puntos de referencia entre los modelos de las distintas disciplinas.
- Dar por sentado que IFC conserva todos los datos nativos (materiales, listas, restricciones), lo cual no suele ser el caso.
- No definir los conjuntos de propiedades que se van a exportar (por ejemplo, resistencia al fuego, valores U) cuando no se ajustan al esquema estándar.
- Intercambiar archivos nativos en lugar de IFC sin previo acuerdo.
- Utilizar versiones de IFC inconsistentes entre disciplinas.
- Omitir las pruebas de exportación.
- Compartir modelos de trabajo en lugar de modelos de coordinación.
- Permitir la carga incontrolada de archivos en carpetas compartidas.

3.6 Recomendaciones clave para las pymes

Para garantizar una interoperabilidad estable, las pymes deben aplicar la siguiente estrategia:

- Estandarizar el formato IFC como formato de intercambio principal.
- Definir procedimientos claros de exportación y verificación.
- Aplicar normas estrictas de nomenclatura y control de versiones.
- Utilizar herramientas de visualización para la comprobación independiente de modelos.
- Mantener flujos de trabajo sencillos y repetibles.

Por lo tanto, la interoperabilidad no debe considerarse una cuestión técnica compleja reservada a personas especialistas. Para las pymes, se trata principalmente de una cuestión de coherencia, disciplina y comunicación estructurada. Al establecer rutinas de intercambio claras basadas en IFC y prácticas básicas de gestión de archivos, las pequeñas empresas pueden reducir significativamente los riesgos de coordinación y participar con confianza en proyectos que utilicen BIM.

4. Entorno de datos común (CDE) sencillo para PYMES

Un entorno de datos común (CDE) es la ubicación central donde se almacena, comparte y gestiona la información del proyecto. En las grandes organizaciones, las plataformas CDE pueden ser sistemas complejos con flujos de trabajo automatizados y procesos de aprobación estrictos. Sin embargo, para las pymes, un CDE no tiene por qué ser tecnológicamente avanzado para ser eficaz. Por lo tanto, el objetivo clave de un CDE en el contexto de una pyme es sencillo: garantizar que todo el mundo trabaje con la información correcta y más reciente.

4.1 Elección de una solución CDE práctica

Las pymes pueden empezar con plataformas de almacenamiento en la nube ampliamente disponibles, como Google Drive, Dropbox o Microsoft OneDrive. Estas herramientas ofrecen acceso compartido, historial de versiones, control de acceso y sincronización entre dispositivos.

En una fase inicial, es más importante definir normas internas claras que invertir en una plataforma BIM especializada. Incluso las soluciones en la nube más sencillas pueden funcionar eficazmente como un CDE si se estructuran correctamente.

4.2 Definición de una estructura de carpetas clara

Una estructura de carpetas bien organizada reduce la confusión y evita que se sobrescriban los archivos. La estructura debe ser sencilla, coherente y utilizada por todos los miembros del equipo.

Por ejemplo:

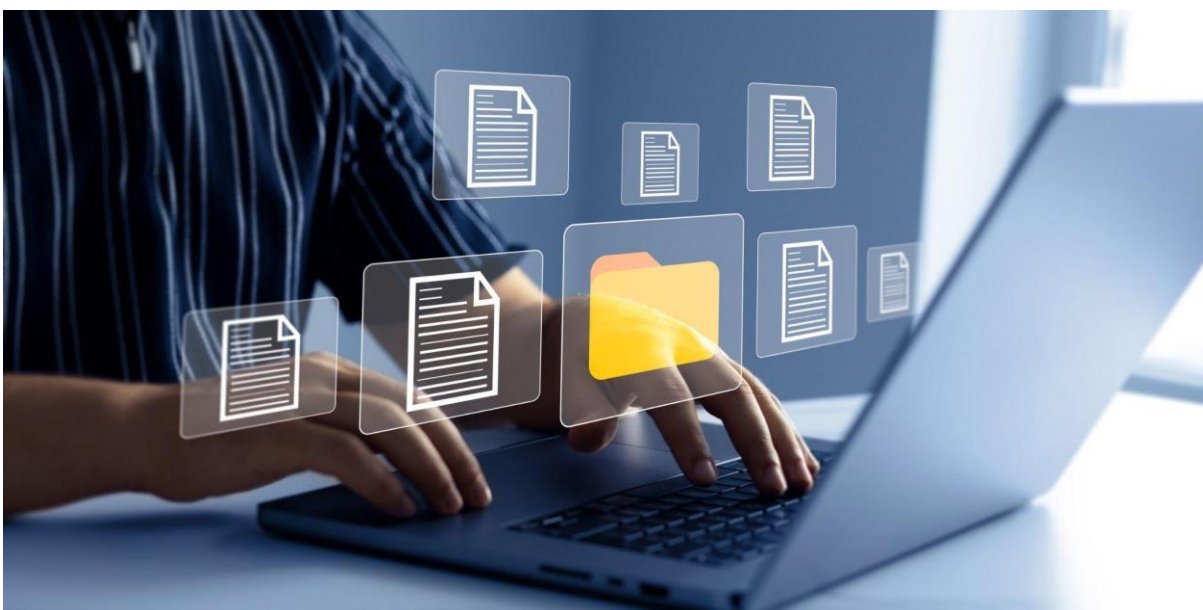
01_Modelos_de_trabajo (contiene archivos de trabajo internos, por ejemplo, archivos de *software* nativos. El acceso puede estar limitado a los autores de los modelos)

02_IFC_Compartido (contiene modelos IFC verificados para la coordinación. Solo deben cargarse aquí los modelos aprobados)

03_Drawings (incluye archivos PDF exportados o planos emitidos para revisión o construcción)

04_Problemas (almacena informes de coordinación, informes de colisiones y registros de incidencias)

05_Archivo (contiene versiones anteriores de modelos y planos. Los archivos nunca deben eliminarse, solo archivarse)



4.3 Control de acceso, responsabilidades y coordinación

Incluso en equipos pequeños, el control de acceso es importante, ya que no todos los miembros necesitan derechos de edición para todas las carpetas.

Enfoque recomendado:

- **Carpetas de trabajo:** solo editables por los autores responsables de los modelos
- **Carpetas compartidas IFC:** las subidas de archivos las controla la persona responsable del BIM
- **Carpeta de archivo:** restringida para evitar el borrado accidental

Un CDE solo es eficaz si se apoya en rutinas de coordinación periódicas. Por lo tanto, es fundamental que las pymes establezcan un día fijo para el intercambio de modelos, una reunión de coordinación semanal y un registro de seguimiento sencillo (Excel o documento compartido).

4.4 Errores comunes y principios clave en el CDE

En muchas pymes, los problemas dentro del Entorno de Datos Común no se deben a la tecnología, sino a la falta de organización y coherencia. De hecho, las subidas de archivos sin control, las estructuras de carpetas incoherentes, la falta de archivo de versiones antiguas y la mala comunicación sobre las actualizaciones suelen provocar confusión y el uso de información desactualizada. Otro problema frecuente es mezclar archivos de trabajo internos con modelos de coordinación aprobados, lo que aumenta el riesgo de errores y/o malentendidos.

Para evitar estos problemas, las pymes deben dar prioridad a la simplicidad y la claridad frente a soluciones digitales complejas. Es esencial contar con una jerarquía de carpetas clara y estable, convenciones de nomenclatura estrictas, actualizaciones periódicas de los modelos y responsabilidades bien definidas. Todos los miembros del equipo deben saber dónde se almacenan los archivos, cuál es la versión actual y quién es responsable de cargar y validar los modelos compartidos.

Por lo tanto, un CDE no tiene por qué ser sofisticado para ser eficaz. Cuando se estructura adecuadamente y se gestiona de forma coherente, incluso las plataformas básicas basadas en la nube pueden mejorar significativamente la coordinación y reducir los riesgos del proyecto. Para las pymes, el éxito de un CDE depende mucho más de la disciplina, la transparencia y las prácticas rutinarias que de la plataforma específica que se utilice.



Caso práctico

ET4Digital – Demostrador de gemelos digitales para la construcción

En el marco del proyecto ET4Digital, se desarrolló un demostrador digital para ayudar a las personas encargadas de dar formación y a las pymes a comprender y aplicar los conceptos de BIM y gemelo digital en un entorno práctico. El demostrador fue desarrollado por la Universidad de Bolonia en colaboración con IIPLE, una institución de formación profesional de Bolonia, Italia.

El objetivo no era solo crear un modelo BIM, sino construir un gemelo digital de la construcción (CDT) capaz de integrar: modelado BIM en 3D, planificación temporal (4D), estimación de costes (5D), monitorización de la obra, integración de datos de sensores y colaboración basada en la nube. El aspecto más importante es que el sistema se diseñó pensando en las pymes, fomentando el uso de herramientas abiertas y accesibles para reducir las barreras económicas.

El proyecto piloto

El caso físico seleccionado para la demostración fue una pequeña obra de formación en IIPLE con las siguientes características:

- Una maqueta de edificio de una planta.
- Cuatro habitaciones y una escalera.
- Paredes de mampostería, acabados de suelo, yeso.
- Diseñado tanto para la formación en construcción como en demolición.

Aunque de pequeña escala, el proyecto presentaba la complejidad suficiente (múltiples tipos de paredes, acabados y fases de construcción) para simular un entorno de obra realista. Como resultado, esto lo hacía ideal para la experiencia orientada a las pymes.

Desarrollo del modelo BIM

El edificio se modeló en Autodesk Revit como un modelo BIM en 3D que representaba el estado según el proyecto. A partir del modelo, el equipo elaboró:

- Estructura de desglose del trabajo (WBS).
- Memoria de cantidades (BOQ).
- Calendario de construcción (Microsoft Project).
- Estimación de costes en 5D.
- Selección de la plataforma digital

Para evitar la dependencia de sistemas propietarios de alto coste, el equipo seleccionó un enfoque Open BIM utilizando OpenProject (adaptado como plataforma Open Project BIM).

Los criterios de selección incluyeron:

- Acceso basado en navegador.
- Visualización del modelo IFC sin *software* de creación.
- Herramientas de gestión de proyectos.
- Asignación y programación de tareas.

- Compartir documentos.
- Acceso abierto con fines educativos.
- Este criterio era fundamental para la aplicabilidad en las pymes.
- Interoperabilidad basada en IFC

Todos los modelos se intercambiaron utilizando el formato abierto de Industry Foundation Classes (IFC), que permite cargar modelos IFC, superponer modelos de múltiples disciplinas, visualizar sin editar y disponer de un acceso controlado. Como resultado, esto garantizó que no se produjeran pérdidas de datos en el intercambio de archivos nativos, que no se necesitaran costosas licencias BIM y que existiera una clara separación entre los entornos de modelización y coordinación.

Integración de sensores (componente de gemelo digital)

Para ir más allá del BIM y alcanzar la funcionalidad de gemelo digital, el equipo integró sensores ambientales (temperatura, humedad, CO₂, partículas), monitorización mediante cámaras y transmisión de datos en tiempo real. Para ello, se utilizó *hardware* de bajo coste y apto para la enseñanza (sensores compatibles con Raspberry Pi) y los datos se transmitieron automáticamente a la plataforma y se visualizaron a través de paneles de control.

En consecuencia, esto permitió:

- Supervisar las condiciones ambientales de la obra.
- Realizar un seguimiento de la presencia de la plantilla.
- Comparar el progreso previsto con el progreso real.
- Apoyar el análisis de seguridad.
- Interoperabilidad y retos organizativos

Durante la implementación surgieron varios retos que son muy relevantes para las pymes. Por ejemplo:

- Fragmentación de los datos.
- Los datos brutos de los sensores eran difíciles de interpretar.
- Solución: se desarrollaron paneles gráficos.
- Lección: los datos deben traducirse en información legible.
- Transición de plataforma

Se probó una plataforma prototipo inicial (basada en BLE), pero posteriormente se sustituyó por Open BIM debido a limitaciones de accesibilidad.

Lección: La selección de herramientas debe priorizar la usabilidad y la escalabilidad.

Verificación IFC

Los modelos IFC requirieron pruebas para garantizar que la geometría y las propiedades se conservaran durante la exportación.

Lección: Verificar siempre las exportaciones IFC antes de compartirlas.

Lagunas de conocimientos

Al principio, los formadores y formadoras tuvieron dificultades con:

- Comprender la integración 4D/5D.
- Gestionar la asignación de tareas de forma digital.
- Interpretar los datos del panel de control.
- Lección: La adopción de la tecnología requiere una formación estructurada, incluso para sistemas a pequeña escala.
- Resultados clave

El demostrador logró:

- Un prototipo funcional de gemelo digital de segunda generación.
- La integración de datos BIM, de calendario, de costes y de obra.
- Una plataforma de acceso abierto adecuada para pymes.
- Un entorno de formación para flujos de trabajo de construcción digital.
- Además, el prototipo demostró que la transformación digital no requiere una infraestructura a gran escala, ya que solo exige flujos de trabajo estructurados y una gestión controlada de la información.

Relevancia para las pymes

Este estudio de caso destaca varias lecciones importantes para las pymes que buscan implementar el BIM de una manera práctica y sostenible. En primer lugar, la transformación digital debe comenzar con un proyecto piloto pequeño y manejable, en lugar de una reestructuración organizativa completa. Así, el uso de formatos abiertos como Industry Foundation Classes (IFC) garantiza la interoperabilidad y reduce la dependencia de proveedores de *software* específicos, lo cual es particularmente importante para las pequeñas empresas que colaboran con diferentes socios y socias. La experiencia también demuestra que la accesibilidad y la usabilidad deben priorizarse frente a la complejidad tecnológica, ya que los sistemas sofisticados son menos valiosos si los equipos no pueden manejarlos de manera eficiente. Los beneficios reales surgen cuando el modelado 3D se conecta con la planificación y la estimación de costes, creando un valor operativo tangible en lugar de modelos digitales aislados.

Además, las plataformas sencillas basadas en la nube pueden facilitar eficazmente la coordinación si se estructuran adecuadamente, y una visualización clara de los datos es esencial para convertir la información bruta en decisiones prácticas. Por último, el proyecto muestra que las pymes pueden implementar los principios del BIM y del gemelo digital de forma gradual y estratégica, sin necesidad de grandes inversiones financieras, centrándose en la organización, la interoperabilidad y la mejora incremental.

Ejercicios

Elija la mejor respuesta para cada pregunta. La clave de respuestas se encuentra al final de esta sección.

1. La implementación del BIM en una pyme requiere múltiples licencias completas de *software* de autoría para todas las personas que componen el equipo desde el principio.

A) Verdadero

B) Falso

2. ¿Cuál de las siguientes es la razón más importante para que las pymes utilicen el formato IFC?

A) Mejora la calidad gráfica del modelo

B) Garantiza la interoperabilidad entre diferentes plataformas de *software*

C) Reduce el uso de Internet

D) Sustituye la necesidad de coordinación

3. Un pequeño proyecto seleccionado para probar los flujos de trabajo BIM se denomina proyecto _____.

A) Demostración

B) Prueba

C) Piloto

D) Temporal

4. ¿Qué combinación representa una configuración BIM mínima para una pyme?

A) Tres herramientas de modelado y dos plataformas de coordinación

B) Una herramienta de modelado, una herramienta de coordinación/visualización y un espacio compartido en la nube

C) Solo una carpeta de almacenamiento en la nube

D) Una plataforma de gemelo digital con integración de sensores

5. Los problemas de interoperabilidad suelen deberse únicamente a limitaciones del *software*

A) Verdadero

B) Falso

6. El entorno digital compartido en el que se almacena y gestiona la información del proyecto se denomina Entorno de Datos _____ (CDE).

- A) Central
- B) Común
- C) Colaborativo
- D) Coordinado

7. A la hora de elegir un *software* BIM, las pymes deben evaluar principalmente:

- A) La popularidad del *software* en las redes sociales
- B) El diseño del logotipo y la imagen de marca
- C) La experiencia del personal, el coste, los requisitos del cliente y la calidad de la exportación IFC
- D) El número de funciones de renderizado integradas

8. El éxito de la implementación del BIM en las pymes depende más de flujos de trabajo estructurados y responsabilidades claras que de tecnología costosa.

- A) Verdadero
- B) Falso

Respuestas

1) B 2) B 3) C 4) B 5) B 6) B 7) C 8) A

Referencias

Autodesk (2023) *Revit: software BIM para el diseño de edificios*. Disponible en: <https://www.autodesk.com/products/revit> (Consultado el 21 de abril de 2026).

buildingSMART International (2020) *Industry Foundation Classes (IFC): una introducción*. Disponible en: <https://www.buildingsmart.org/standards/bsi-standards/industry-foundation-classes/> (Consultado el 21 de abril de 2026).

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R. y Liston, K. (2018) *Manual BIM: Guía sobre el modelado de información de la construcción para propietarios, diseñadores, ingenieros, contratistas y gestores de instalaciones*. 3.ª ed. Hoboken: Wiley.

Comisión Europea (2021) *Transformación digital del sector de la construcción*. Disponible en: <https://ec.europa.eu> (Consultado el 21 de abril de 2026).

Hardin, B. y McCool, D. (2015) *BIM y gestión de la construcción: herramientas, métodos y flujos de trabajo probados*. 2.ª ed. Indianápolis: Wiley.

ISO (2018) ISO 19650-1: Organización y digitalización de la información sobre edificios y obras de ingeniería civil, incluido el modelado de información de edificios (BIM) — Gestión de la información mediante el modelado de información de edificios. Ginebra: Organización Internacional de Normalización.

ISO (2018) ISO 19650-2: Fase de entrega de los activos. Ginebra: Organización Internacional de Normalización.

Kassem, M. y Succar, B. (2017) «Adopción del Macro BIM: estructuras conceptuales», *Automation in Construction*, 81, pp. 12-20.

McGraw Hill Construction (2014) *El valor empresarial del BIM para la construcción en los principales mercados mundiales*. Disponible en: <https://www.construction.com> (Consultado el 21 de abril de 2026).

Succar, B. (2009) «Marco de modelado de información de edificios: una base de investigación y ejecución para las partes interesadas del sector», *Automation in Construction*, 18(3), pp. 357-375.

Volk, R., Stengel, J. y Schultmann, F. (2014) «Modelado de información de edificios (BIM) para edificios existentes: revisión bibliográfica y necesidades futuras», *Automation in Construction*, 38, pp. 109–127.

ET4 Digital

ET4D



CURSO 3



Tecnologías y Procesos Digitales en el Entorno Construido



Cofinanciado por
la Unión Europea

Financiado por la Unión Europea. Las opiniones y puntos de vista expresados solo comprometen a su(s) autor(es) y no reflejan necesariamente los de la Unión Europea o los de la Agencia Ejecutiva Europea de Educación y Cultura (EACEA). Ni la Unión Europea ni la EACEA pueden ser considerados responsables de ellos.

Curso 3:

Tecnologías y Procesos Digitales en el Entorno Construido

Tema 1: Comprensión y aplicación de los gemelos digitales en el entorno construido

Tema 2: Inteligencia artificial y tecnologías de realidad aumentada para entornos construidos más inteligentes

Index

Tema 1: Comprensión y aplicación de los gemelos digitales en el entorno construido	3
Objetivos y resultados de aprendizaje y glosario	4
Objetivos de aprendizaje	4
Resultados del aprendizaje	4
Glosario	5
1. Evolución de la digitalización en el entorno construido	6
2. Definiciones, conceptos y tipos de gemelos digitales	9
3. Componentes básicos de un sistema de gemelo digital	10
4. Fuentes de datos y capas de integración	12
5. Gemelos digitales a lo largo del ciclo de vida de los activos	14
6. Aplicaciones prácticas y casos de estudio	18
7. El papel de los drones y el escaneo láser	19
8. Retos, riesgos y limitaciones	22
9. Requisitos de preparación y competencias organizativas	23
10. Estrategias para la introducción de gemelos digitales en la práctica y la formación	25
Ejercicios	28
Referencias	30
Tema 2: Inteligencia artificial y tecnologías de realidad aumentada para entornos construidos más inteligentes	
31	
Objetivos y resultados de aprendizaje y glosario	31
Objetivos de aprendizaje	31
Resultados del aprendizaje	31
Glosario	32
1. Fundamentos de la inteligencia artificial	33
2. Técnicas de IA relevantes para el entorno construido	34
Ejemplos prácticos	34
3. Flujos de trabajo BIM y gemelos digitales habilitados por IA	36
4. Mantenimiento predictivo y análisis de riesgos	37
5. Visión artificial en la construcción y las infraestructuras	38
6. Conceptos de realidad aumentada y realidad virtual	40
7. Aplicaciones de RA y RV a lo largo del ciclo de vida de los activos	43
8. IA para el aprendizaje y el desarrollo de competencias	44
9. Consideraciones éticas, legales y organizativas	45
10. Estrategias de adopción y tendencias futuras	46
Ejercicios	48
Referencias	50

Tema 1: Comprensión y aplicación de los gemelos digitales en el entorno construido

Objetivos y resultados de aprendizaje y glosario

Objetivos de aprendizaje

- ▶ Trazar la evolución desde el CAD al BIM y a los gemelos digitales, y reconocer los hitos tecnológicos clave en el entorno construido.
- ▶ Definir qué es (y qué no es) un gemelo digital, distinguiendo entre tipos y niveles de madurez.
- ▶ Identificar los componentes básicos de un gemelo digital y explicar cómo interactúan los componentes.
- ▶ Comprender las fuentes de datos clave y las tecnologías de captura de la realidad, reconociendo sus ventajas y limitaciones.
- ▶ Explorar los retos de integración e interoperabilidad en la implementación de gemelos digitales.
- ▶ Aplicar perspectivas basadas en el ciclo de vida para evaluar las aplicaciones de los gemelos digitales y la creación de valor en cada etapa.
- ▶ Examinar casos de uso del mundo real para comprender las ventajas, las limitaciones y la transferibilidad entre contextos.
- ▶ Reconocer las categorías de riesgo y los factores organizativos y humanos que influyen en el éxito de los proyectos de gemelos digitales.
- ▶ Aprender enfoques estructurados para la adopción del gemelo digital con el fin de respaldar la práctica profesional y el desarrollo de capacidades.

Resultados del aprendizaje

- ▶ Explicar la evolución de las tecnologías digitales en el entorno construido, incluida la transición del CAD al BIM y los conceptos de gemelo digital.
- ▶ Definir los principios y componentes fundamentales de un sistema de gemelos digitales, incluidos los activos físicos, los modelos digitales, la integración de datos y las capas de análisis.
- ▶ Identificar las fuentes de datos y tecnologías clave que respaldan el desarrollo de gemelos digitales, como sensores, sistemas de IoT, modelos BIM, drones y escaneo láser.
- ▶ Evaluar el valor de los gemelos digitales a lo largo del ciclo de vida de los activos, incluidas las fases de diseño, construcción, operación y mantenimiento.
- ▶ Reconocer los retos organizativos, técnicos y relacionados con los datos asociados a la implementación de soluciones de gemelos digitales en proyectos reales.

Glosario

Ciclo de vida de los activos	La secuencia de etapas por las que pasa un activo construido, desde la planificación y el diseño hasta la construcción, la explotación, la rehabilitación y el fin de su vida útil.
Capa analítica	El componente de una plataforma de gemelo digital responsable de analizar datos, generar conocimientos y apoyar la toma de decisiones.
BIM	Proceso colaborativo que utiliza modelos digitales que contienen datos geométricos y semánticos sobre edificios o infraestructuras a lo largo de su ciclo de vida.
Sistema de gestión de edificios (BMS)	Sistema que supervisa y controla los servicios de los edificios, como la climatización, la iluminación y la seguridad.
CAD (diseño asistido por ordenador)	Tecnología digital utilizada para crear planos y modelos técnicos en 2D y 3D en ingeniería y arquitectura.
Entorno de datos común (CDE)	Plataforma digital centralizada en la que se almacena, comparte y gestiona la información del proyecto entre los equipos del proyecto.
Integración de datos	Proceso de combinar datos de múltiples fuentes para proporcionar una visión unificada que facilite el análisis y la toma de decisiones.
Plataforma de gemelo digital	Infraestructura de <i>software</i> utilizada para gestionar modelos digitales, datos de sensores y análisis asociados a un gemelo digital.
Dron (UAV)	Vehículo aéreo no tripulado utilizado para inspecciones, levantamientos topográficos y la captura de imágenes aéreas para el modelado digital.
Principios Gemini	Principios rectores desarrollados por el Centro para la Gran Bretaña Digital del Reino Unido para garantizar que los gemelos digitales sean fiables, seguros y beneficiosos.
SIG (Sistema de Información Geográfica)	Tecnología utilizada para gestionar datos espaciales y cartografiar información geográfica.
IoT (Internet de las cosas)	Red de sensores y dispositivos interconectados que recopilan e intercambian datos en tiempo real.
Escaneo láser	Tecnología de captura de la realidad que utiliza rayos láser para producir nubes de puntos 3D de alta precisión de entornos físicos.
Gestión del ciclo de vida	La gestión de un activo a lo largo de todo su ciclo de vida mediante herramientas y datos digitales.
OpenBIM	Enfoque promovido por buildingSMART que garantiza la interoperabilidad y los estándares abiertos para el intercambio de datos BIM.
Fotogrametría	Técnica para obtener mediciones y modelos 3D a partir de fotografías
Mantenimiento predictivo	Estrategia de mantenimiento que utiliza el análisis de datos y modelos de predicción para anticipar fallos en los equipos.
Captura de la realidad	Tecnologías como los drones, el escaneo láser y la fotogrametría utilizadas para capturar digitalmente entornos del mundo real.
Ciudad inteligente	Entorno urbano que utiliza tecnologías digitales y datos para mejorar la sostenibilidad, la eficiencia y la calidad de vida.

1. Evolución de la digitalización en el entorno construido

La transformación digital del entorno construido ha evolucionado a lo largo de varias décadas. La digitalización inicial comenzó con el diseño asistido por ordenador (CAD), que sustituyó al dibujo manual y mejoró la precisión y la eficiencia de los planos (resumen de la norma ISO 19650) [1].

El diseño asistido por ordenador (CAD) consiste en el uso de *software* para crear, modificar, analizar y optimizar representaciones digitales en 2D y 3D de edificios, mejorando la precisión, la eficiencia y la colaboración en comparación con el dibujo manual. Entre sus aplicaciones clave se incluyen la creación de planos arquitectónicos detallados, el análisis estructural, el diseño de sistemas MEP y, a través del modelado de información de construcción (BIM), simulaciones en 4D/5D para el cálculo de costes y la planificación.

Diseño asistido por ordenador (CAD) en la construcción y la arquitectura

El CAD utiliza *software* especializado para crear planos técnicos en 2D y modelos en 3D precisos, detallados y escalables. Ha sustituido en gran medida al dibujo manual en papel. Ofrece una mayor precisión, una iteración de diseño más rápida y una mejor visualización y, gracias al *software* basado en datos, facilita el intercambio de información entre profesionales de la arquitectura, la ingeniería y contratistas. Las principales aplicaciones del CAD en el sector de la construcción son:

- Diseño arquitectónico: elaboración de planos de planta, alzados, secciones y visualizaciones en 3D a partir de los levantamientos iniciales.
- Ingeniería: modelización y análisis de sistemas estructurales, eléctricos y de fontanería (MEP).
- Gestión de la construcción: uso de modelos 3D para la programación (4D), la estimación de costes (5D) y la creación de registros «tal y como se ha construido».
- Planificación y cumplimiento normativo: garantizar que los diseños cumplan con la normativa de edificación y facilitar el análisis de la obra.

Los programas de CAD más comunes en arquitectura son Autodesk AutoCAD, que se utiliza a menudo para el dibujo en 2D y el modelado en 3D; Autodesk Revit, utilizado con frecuencia para BIM (modelado de información de la construcción); y otras herramientas especializadas utilizadas para la ingeniería civil, el desarrollo urbanístico y la ingeniería estructural, eléctrica o de fontanería.

Modelado de información de construcción (BIM)

El siguiente gran avance fue el modelado de información de la construcción (BIM). El BIM introdujo el modelado basado en objetos, en el que los elementos de la construcción contienen datos tanto geométricos como semánticos, y permitió la colaboración multidisciplinar (buildingSMART openBIM: [2]).

El modelado de información de construcción (BIM) es un proceso colaborativo e impulsado por la tecnología para crear, gestionar e intercambiar representaciones digitales de activos de construcción físicos a lo largo de su ciclo de vida. Integra el modelado 3D con datos, lo que permite a los equipos visualizar, simular y optimizar el diseño, la construcción y la explotación. Entre sus aplicaciones clave se incluyen la detección de colisiones, la estimación de costes y la gestión de instalaciones.

Las características del BIM son:

- Proceso, no solo *software*: el BIM es una metodología de trabajo colaborativo que utiliza un Entorno de Datos Común (CDE) para compartir información entre profesionales de la arquitectura, la ingeniería y contratistas.
- Modelo 3D inteligente: más allá de un simple dibujo en 3D, el BIM crea una base de datos de elementos de construcción que contiene geometría, relaciones espaciales y propiedades físicas.
- Gestión del ciclo de vida: abarca desde el diseño inicial, la planificación y la construcción hasta la explotación, el mantenimiento y la eventual demolición o rehabilitación.
- Niveles de madurez: la madurez del BIM va desde el Nivel 0 (CAD 2D no gestionado) hasta el Nivel 2 (3D colaborativo con CDE) y el Nivel 3 (datos totalmente integrados y basados en la nube).

El BIM en la construcción se utiliza para:

- El diseño y la visualización permiten a las partes interesadas explorar representaciones virtuales en 3D para evaluar la calidad del diseño, la planificación del espacio y la estética.
- La detección de conflictos y la coordinación identifican posibles conflictos entre los sistemas del edificio (por ejemplo, fontanería, climatización, estructura) antes de que comience la construcción, lo que reduce la necesidad de reelaboraciones.
- Simulación y análisis: se utiliza para el análisis de la sostenibilidad, como el modelado energético de edificios (BEM) para analizar el comportamiento térmico, la iluminación y la ventilación.
- La gestión y planificación de la construcción facilita la programación, el modelado 4D, la estimación de costes (5D) y la logística de la obra.
- Gestión de instalaciones: proporciona un modelo preciso y rico en datos para que los propietarios gestionen el mantenimiento, las reparaciones y las operaciones tras la finalización de la obra.

Las ventajas de utilizar BIM son una mejor colaboración y comunicación, una reducción significativa de los costes gracias a la disminución de los errores y a una mejor planificación, una mayor eficiencia y productividad, y una mejor sostenibilidad y rendimiento energético.

Gemelos digitales

Los gemelos digitales representan la siguiente etapa de la evolución. A diferencia de los modelos BIM, los gemelos digitales son dinámicos y se actualizan continuamente utilizando datos operativos, análisis y simulaciones para apoyar la toma de decisiones (Grieves y Vickers, 2017 – Resumen de Springer [3]; Principios Gemini de CDBB [4]).



Crédito de la imagen: innni/Shutterstock.com (<https://www.azobuild.com/article.aspx?ArticleID=8649>)

Un gemelo digital en edificios es una réplica dinámica, virtual y en tiempo real de una estructura física, creada mediante la integración de modelos 3D (BIM) con datos de sensores del IoT, IA y simulaciones. Permite la monitorización continua, el mantenimiento predictivo y la optimización del rendimiento del edificio a lo largo de todo su ciclo de vida, desde el diseño y la construcción hasta la explotación.

Las características de los gemelos digitales son:

- Réplica virtual: una representación digital en 3D que refleja la geometría, los componentes y los sistemas del edificio físico.
- Integración de datos en tiempo real: utiliza el IoT, sensores y drones para transmitir datos de forma continua desde el activo físico, lo que permite que el gemelo refleje las condiciones del mundo real.
- Conexión bidireccional: a diferencia de los modelos estáticos, los gemelos digitales suelen permitir un sistema de bucle cerrado en el que los datos pueden retroalimentarse para controlar u optimizar el edificio físico.
- Motor analítico: incorpora IA/aprendizaje automático para simular escenarios, detectar ineficiencias y predecir las necesidades de mantenimiento.

Las aplicaciones de los gemelos digitales en edificios se incluyen en todas las fases de la construcción y el uso:

- Diseño y planificación: visualización de diseños, realización de simulaciones y ejecución de la «detección de conflictos» (identificación de conflictos entre sistemas) antes de que comience la construcción.

- Construcción y gestión de proyectos: supervisar el progreso de la obra en tiempo real, mejorar la seguridad, potenciar la colaboración entre las partes interesadas y optimizar la gestión de recursos.
- Operaciones y mantenimiento: predicción de fallos en los equipos (por ejemplo, sistemas de climatización), reducción del tiempo de inactividad y optimización del consumo energético en función de los patrones de ocupación.
- Monitorización del estado estructural: seguimiento de tensiones, vibraciones e integridad estructural, especialmente en estructuras complejas.
- Sostenibilidad y gestión de instalaciones: mejora de la eficiencia energética, seguimiento de los ciclos de vida de los materiales y gestión de las operaciones de las instalaciones para aumentar el confort y reducir los residuos.

Los gemelos digitales se consideran una evolución del modelado de información de construcción (BIM), pasando de datos estáticos de la fase de diseño a inteligencia operativa dinámica (Figura 1).

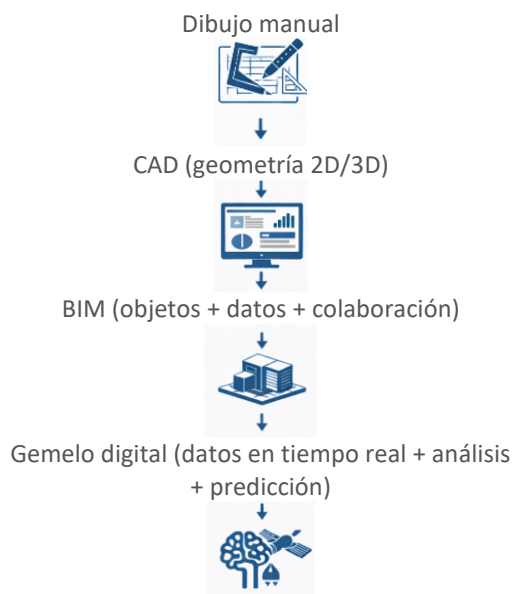


Figura 1: Cronología de la evolución digital

Etapas	Geometría	Riqueza de datos	Conectividad	Cobertura del ciclo de vida
CAD	Alta	Bajo	Ninguna	Solo diseño
BIM	Alto	Medio-alto	Limitado	Diseño- Construcción
DT	Alto	Muy alto	En tiempo real	Ciclo de vida completo

Figura 2: Matriz de madurez digital

Ejercicio

Identifica qué herramientas digitales utiliza actualmente tu organización y colócalas en la línea de tiempo anterior.

Explicación del ejercicio

En esta actividad, identificará las herramientas digitales que utiliza actualmente su organización y las situará en la línea temporal proporcionada.

- ▶ Paso 1: Enumera las herramientas que utilizas (por ejemplo, *software* CAD, plataformas BIM, aplicaciones de gestión de proyectos, almacenamiento en la nube, herramientas de comunicación).
- ▶ Paso 2: Anota cuándo se introdujo cada herramienta en tu organización.
- ▶ Paso 3: Colócalas en la línea de tiempo en orden cronológico para mostrar cómo ha evolucionado tu entorno digital.

2. Definiciones, conceptos y tipos de gemelos digitales

Un gemelo digital es una representación digital de un activo, sistema o proceso físico que está conectado a su homólogo físico a través de flujos de datos estructurados (Figura 3), lo que permite el análisis, la simulación y la optimización (Grieves y Vickers, 2017 [3]; Tao et al., 2019 [5]).

Los gemelos digitales pueden clasificarse según su finalidad y madurez (Figura 4), desde gemelos descriptivos y de diagnóstico hasta sistemas predictivos y prescriptivos (Kritzinger et al., 2018 [6]).



Figura 3: Modelo conceptual del gemelo digital

Nivel	Capacidad	Uso típico
1	Visualización	Resumen de activos
2	Supervisión	Seguimiento del rendimiento
3	Predicción	Previsión de fallos
4	Recomendación	Automatización de la toma de decisiones

Figura 4: Niveles de madurez del gemelo digital

Ejercicio

Clasifica un proyecto conocido según los niveles de madurez anteriores.

Explicación del ejercicio

En esta actividad, clasificarás un proyecto conocido según los niveles de madurez de los gemelos digitales.

- ▶ Paso 1: Selecciona un proyecto con el que estés familiarizado (por ejemplo, un proyecto de edificación, infraestructura o instalaciones).
- ▶ Paso 2: Analice el uso que se hace en el proyecto de herramientas digitales y datos (CAD, BIM, IoT, simulación, monitorización en tiempo real).
- ▶ Paso 3: Compare estas características con los niveles de madurez descritos anteriormente.
- ▶ Paso 4: Clasifique el proyecto en la categoría adecuada, explicando por qué se ajusta a ese nivel.

3. Componentes básicos de un sistema de gemelo digital

Un gemelo digital funcional consta de cuatro componentes básicos: el activo físico, un modelo digital, conexiones de datos y una capa de análisis o inteligencia (Figura 5) (Boschert y Rosen, 2016 [7]; resumen de la norma ISO 23247 [8]).

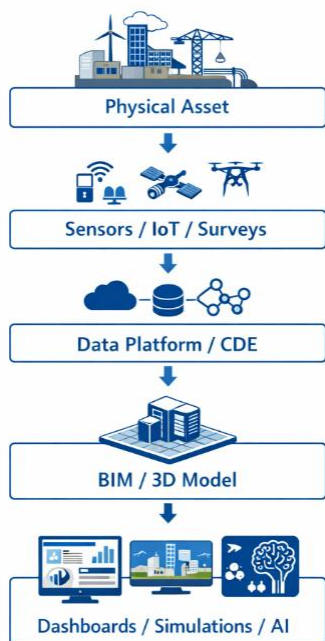


Figura 5: Arquitectura del sistema de gemelos digitales

Componente	Función	Herramientas típicas
Activo físico	Fuente de referencia	Edificio, puente
Capa de datos	Captura de datos	Sensores, BMS
Capa de modelo	Estructura y contexto	BIM, SIG
Análisis	Información y decisiones	Cuadros de mando, IA

Figura 6: Matriz de responsabilidades de los componentes

Un sistema de gemelo digital para edificios (Figura 6) es un marco integrado que une los mundos físico y virtual mediante un intercambio de datos continuo y bidireccional. A diferencia de un modelo 3D estático, es una entidad «viva» que refleja el estado y el comportamiento en tiempo real de su contraparte física.

Los componentes principales se pueden clasificar en cuatro capas principales. La primera capa es la capa física (el gemelo físico). Se trata del edificio o la infraestructura del mundo real. Incluye:

- ▶ Activos físicos: elementos estructurales, sistemas de climatización, iluminación y ascensores.
- ▶ Sensores del Internet de las cosas (IoT): dispositivos que capturan datos en tiempo real, como la temperatura, la ocupación, el consumo energético y las vibraciones.
- ▶ Actuadores: componentes que pueden recibir órdenes del gemelo digital para realizar cambios físicos, como ajustar un termostato o accionar una válvula.

La segunda capa es la capa de conectividad (el hilo digital). Esta capa actúa como el «sistema nervioso», facilitando el flujo de datos entre los entornos físico y virtual:

- ▶ Adquisición de datos: pasarelas de IoT y capas de datos locales que recogen las señales brutas de los sensores.
- ▶ Protocolos de comunicación: enlaces estandarizados (por ejemplo, Bluetooth, ZigBee, celular) que garantizan una transmisión de datos segura y de baja latencia.
- ▶ Middleware: *software* que sirve de puente entre el *hardware* y las aplicaciones mediante la limpieza, sincronización y estandarización de diversos formatos de datos.

La tercera capa es la capa virtual (el modelo digital). La réplica digital donde se contextualizan y analizan los datos:

- ▶ BIM (Modelado de Información de Construcción): proporciona la geometría 3D y los datos estructurales básicos del edificio.

- ▶ Motor de análisis e IA: algoritmos que procesan datos para detectar anomalías, identificar patrones y predecir el rendimiento futuro (por ejemplo, fallos en los equipos).
- ▶ Motores de simulación: *software* utilizado para ejecutar escenarios hipotéticos, como comprobar cómo afecta a la eficiencia energética el cambio de los ajustes del sistema de climatización.

La cuarta capa es la capa de aplicación (interacción e interfaz), donde los usuarios interactúan con el sistema para tomar decisiones informadas:

- ▶ Cuadros de mando: interfaces visuales en tiempo real que muestran los indicadores clave de rendimiento (KPI) y el estado del sistema.
- ▶ Interfaces inmersivas: herramientas como la realidad aumentada (RA) o la realidad virtual (RV) para inspecciones visuales y revisiones de diseño.
- ▶ Sistemas de apoyo a la toma de decisiones: herramientas de generación de informes y alertas automatizadas que guían a los gestores de instalaciones en el mantenimiento y la optimización operativa.

La integración de un gemelo digital con un sistema de gestión de edificios (BMS) transforma el edificio de un entorno reactivo a un ecosistema proactivo y «vivo». Mientras que el BMS se encarga tradicionalmente de la automatización diaria (como encender y apagar las luces), el gemelo digital actúa como una capa de inteligencia que optimiza esas acciones mediante simulación avanzada y contexto histórico.

La sinergia entre el BMS y el gemelo digital consiste en las siguientes funciones:

- ▶ Función del BMS (el controlador táctico): actúa como el «centro neurálgico» para el control centralizado de los sistemas mecánicos y eléctricos, centrándose en la automatización y la eficiencia operativa.
- ▶ Función del gemelo digital (la réplica estratégica): actúa como una réplica virtual dinámica y basada en datos que utiliza la IA y el análisis para el análisis predictivo y la optimización a largo plazo.
- ▶ La sinergia: juntos, hacen que la gestión de edificios pase de un enfoque reactivo, basado en hojas de cálculo, a uno proactivo, predictivo y visualmente intuitivo.

Las capacidades de integración específicas se refieren a:

- ▶ Optimización de la climatización: el gemelo digital simula diversos puntos de consigna de temperatura y estrategias de ventilación para encontrar el equilibrio perfecto entre el confort y un consumo energético mínimo, y luego envía estos puntos de consigna optimizados al BMS.
- ▶ Mantenimiento predictivo: mientras que un BMS puede alertarle *tras* el fallo de una bomba, un gemelo digital analiza los datos de vibración y rendimiento para predecir el fallo con una semana de antelación, lo que permite a los equipos de mantenimiento intervenir a tiempo.
- ▶ Gestión energética: la integración permite el seguimiento en tiempo real del consumo energético en comparación con los modelos de predicción. Por ejemplo, un gemelo digital puede utilizar las previsiones meteorológicas para «preenfriar» un edificio durante las horas de menor demanda, lo que reduce significativamente los costes de los servicios públicos.
- ▶ Control basado en la ocupación: al superponer datos de ocupación en tiempo real sobre el modelo BIM, el sistema puede atenuar automáticamente las luces o reducir el flujo de aire en zonas infrautilizadas, logrando un ahorro energético de entre el 20 % y el 40 %.

A continuación, se describen los métodos de integración técnica:

- ▶ Protocolos estandarizados: la comunicación suele realizarse a través de protocolos estándar del sector, como BACnet, Modbus, MQTT y OPC UA, que permiten al gemelo digital recopilar datos de proveedores de sistemas de gestión de edificios (BMS) heterogéneos.
- ▶ Cosimulación (FMU/FMI): las configuraciones avanzadas utilizan unidades de simulación funcional (FMU) para permitir «interacciones» en tiempo real entre modelos térmicos basados en la física y los controladores BMS reales.
- ▶ Capas de middleware: se utiliza un middleware robusto para limpiar y sincronizar diversos formatos de datos (por ejemplo, alineando datos energéticos con marca de tiempo con datos espaciales BIM) antes de su análisis.

Los principales retos de la implementación se refieren a:

- ▶ Interoperabilidad: muchos BMS existentes son «cajas negras» propietarias, lo que dificulta la extracción de datos sin pasarelas o API especializadas.
- ▶ Integridad y seguridad de los datos: el aumento de la conectividad crea nuevos riesgos de ciberseguridad. La implementación de blockchain para registros de datos seguros e inmutables es una solución emergente para garantizar la procedencia y la seguridad de los datos.
- ▶ Alto coste inicial: la integración requiere una inversión significativa en sensores, módulos de *software* y formación del personal.

Ejercicio

Identifique las posibles fuentes de datos de un edificio público típico.

Explicación del ejercicio

En esta actividad, identificará las posibles fuentes de datos de un edificio público típico.

- ▶ Paso 1: Piense en los diferentes sistemas y tecnologías que funcionan en un edificio público (por ejemplo, climatización, iluminación, seguridad, contadores de energía, sensores de ocupación).
- ▶ Paso 2: Identifica el tipo de datos que genera cada sistema (temperatura, consumo energético, registros de acceso, registros de mantenimiento, etc.).
- ▶ Paso 3: Coloca estas fuentes de datos en el diagrama o la lista proporcionados, mostrando cómo contribuyen al ecosistema general del gemelo digital.

4. Fuentes de datos y capas de integración

Los gemelos digitales se basan en múltiples fuentes de datos, incluidos modelos BIM, sensores IoT, sistemas de gestión de edificios, registros de activos y tecnologías de captura de la realidad. Una integración eficaz depende de una gestión estructurada de la información y de estándares abiertos (ISO 19650 [9]; buildingSMART IFC: [10]).

En el gemelo digital de un edificio, las fuentes de datos proporcionan inteligencia en bruto, mientras que las capas de integración transforman esta información fragmentada en una réplica virtual cohesionada y en tiempo real.

Los gemelos digitales incorporan diversos tipos de datos para capturar el estado físico, operativo y ambiental de un edificio. Las fuentes de datos primarias son:

- ▶ Datos de ingeniería estáticos: planos de cimentación procedentes del modelado de información de construcción (BIM) o CAD, incluyendo especificaciones de materiales, planos geométricos y esquemas de sistemas.
- ▶ Flujos de IoT en tiempo real: sensores que monitorizan variables dinámicas como la temperatura, la humedad, los niveles de CO₂, la ocupación y el consumo energético.
- ▶ Sistemas operativos: datos de los sistemas de gestión de edificios (BMS), registros de mantenimiento, plataformas de gestión de activos y unidades de control de ascensores o de climatización.
- ▶ Contexto externo: fuentes de terceros, como datos meteorológicos locales, tarifas de servicios públicos y patrones de tráfico que influyen en el rendimiento del edificio.

La arquitectura de integración actúa como un canal, garantizando que los datos estén sincronizados y sean procesables. Las capas de integración y procesamiento de datos (Figura 7) son:

- ▶ Capa de adquisición de datos: Recopila datos sin procesar a través de protocolos de comunicación como [MQTT para el IoT](#), BACnet para sistemas de edificios o API REST para servicios web externos.
- ▶ Capa de procesamiento/limpieza de datos: Normaliza formatos de datos heterogéneos (por ejemplo, convirtiendo CSV, JSON y registros binarios propios) a una estructura estándar, al tiempo que filtra el «ruido» o los valores atípicos.
- ▶ Mapeo y asociación semántica: vincula los datos brutos de los sensores con elementos 3D específicos del modelo virtual; por ejemplo, asociando una lectura de temperatura con un ID de habitación específico en la [base BIM](#).
- ▶ Capa de sincronización: Mantiene la alineación temporal entre el activo físico y su gemelo, a menudo utilizando «bucles ligeros» (por ejemplo, actualizaciones cada segundo) para evitar la «deriva de datos», en la que el modelo virtual va por detrás de la realidad.

- ▶ Lago de datos/entorno federado: un repositorio centralizado e independiente del proveedor que almacena tanto datos históricos como en tiempo real, y que sirve como «única fuente de verdad» para todas las partes interesadas.

La comparación de las fuentes de datos se muestra en la figura 8.

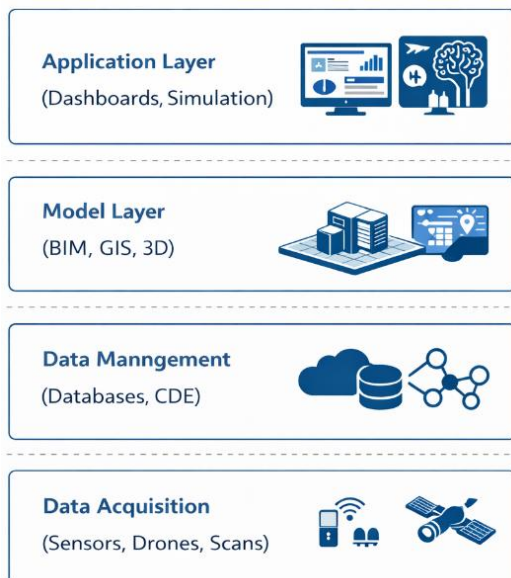


Figura 7: Capas de integración de datos.

Fuente	Frecuencia	Precisión	Uso típico
Sensores	En tiempo real	Media-alta	Monitorización
BIM	Estático	Alta	Estructura
Escaneo láser	Periódico	Muy alto	Validación

Figura 8: Comparación de fuentes de datos.

Ejercicio

Identifique los riesgos relacionados con la mala calidad de los datos.

Explicación del ejercicio

En esta actividad, identificará los riesgos relacionados con la mala calidad de los datos en el contexto de los sistemas de gemelos digitales.

- ▶ Paso 1: Piensa en las diferentes fuentes de datos que alimentan un gemelo digital (por ejemplo, datos de sensores, modelos BIM, registros de mantenimiento, plataformas de IoT).
- ▶ Paso 2: Considera qué podría salir mal si los datos son incompletos, obsoletos, incoherentes o inexactos.
- ▶ Paso 3: Enumera los riesgos potenciales y reflexiona sobre cómo podrían afectar a la toma de decisiones, las operaciones o el rendimiento del sistema.

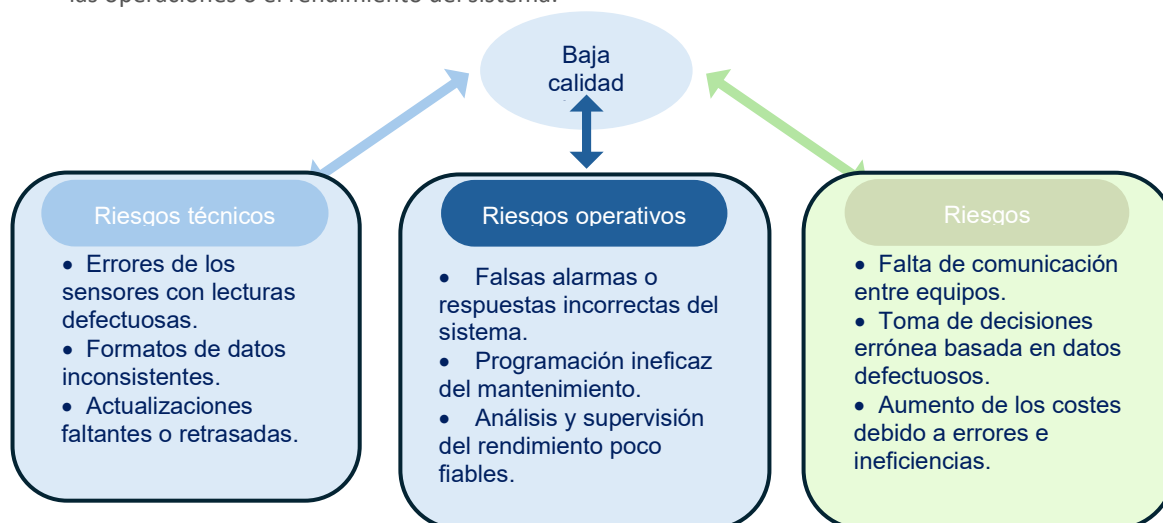


Figura 9. Mapa visual de riesgos.

5. Gemelos digitales a lo largo del ciclo de vida de los activos

Los gemelos digitales facilitan la toma de decisiones a lo largo de todo el ciclo de vida de los activos construidos, desde el diseño y la construcción hasta la explotación y el fin de la vida útil, en consonancia con los principios de gestión de activos (ISO 55000: [\[11\]](#); Principios Gemini de la CDBB: [\[4\]](#)).

La evolución de un gemelo digital (DT) no es un hecho aislado, sino un proceso continuo que refleja la trayectoria durante todo el ciclo de vida de un edificio. Al mantener un hilo digital, es decir, un flujo continuo de información a lo largo de las diferentes etapas, las partes interesadas pueden alejarse de los silos de datos fragmentados y avanzar hacia un enfoque de gestión holístico.

Fase 1: Diseño y preconstrucción

Durante la fase inicial, el gemelo digital actúa como un laboratorio predictivo. El personal de arquitectura e ingeniería utiliza el gemelo para simular escenarios hipotéticos antes de colocar un solo ladrillo. Esto implica comprobar la integridad estructural, los patrones de flujo de aire y la ganancia solar.

A diferencia de los modelos 3D tradicionales, el gemelo en esta etapa integra datos ambientales y el contexto urbano, lo que permite al equipo de diseño optimizar la huella del edificio en aras de la sostenibilidad. Al simular el comportamiento de las y los ocupantes y la demanda energética desde el principio, el gemelo garantiza que el diseño final no solo sea estéticamente agradable, sino también eficiente desde el punto de vista operativo y conforme a los objetivos de carbono a largo plazo.

Fase 2: Construcción y puesta en marcha

A medida que el proyecto se traslada a la obra, el gemelo digital se convierte en una herramienta de supervisión en tiempo real. Al integrar datos de drones, escáneres láser y tecnología *wearable*, el gemelo ofrece una comparación en directo entre la realidad «tal y como se ha construido» y el plano «tal y como se ha diseñado».

- ▶ Resolución de conflictos: identifica conflictos estructurales o errores de instalación en tiempo real, lo que reduce drásticamente las costosas repeticiones de trabajo.
- ▶ Seguimiento del progreso: Las partes interesadas pueden supervisar las cadenas de suministro y la productividad laboral a través de un panel de control centralizado.
- ▶ La entrega: aquí se produce la transición más crítica. En lugar de entregar una pila de manuales en papel, la empresa contratista entrega un «activo vivo», un gemelo digital completamente poblado y listo para el equipo de operaciones.

Fase 3: Operaciones y mantenimiento (el ciclo de vida más largo)

La mayor parte del coste y el impacto medioambiental de un edificio se produce durante su vida útil. Aquí, el gemelo digital se convierte en el sistema nervioso central del activo. Al extraer datos de sensores IoT y sistemas de gestión de edificios (BMS), permite:

- ▶ Mantenimiento predictivo: en lugar de reparar una caldera después de que se averíe, el gemelo analiza las firmas de vibración y calor para predecir fallos con semanas de antelación.
- ▶ Optimización del espacio: en la era del trabajo híbrido, los gemelos analizan los patrones de ocupación para sugerir reconfiguraciones de la distribución, garantizando que las zonas infrautilizadas se apaguen para ahorrar energía.
- ▶ Experiencia de uso: los y las ocupantes pueden interactuar con el gemelo a través de aplicaciones móviles para ajustar la iluminación o reservar salas de reuniones, creando un entorno receptivo que se adapta a las necesidades humanas.
- ▶

Fase 4: Reacondicionamiento, reutilización y fin de la vida útil

Cuando un edificio llega al final de su uso previsto inicial, el gemelo digital proporciona la información histórica necesaria para una toma de decisiones informada.

Si el edificio va a ser rehabilitado, el gemelo contiene un registro perfecto de los «huesos» ocultos de la estructura, como tuberías, cableado y elementos portantes, lo que elimina las conjeturas de las renovaciones. Si el edificio debe ser desmantelado, el gemelo actúa como un pasaporte de materiales. Cataloga cada componente, desde las vigas de acero hasta los paneles de vidrio, facilitando las prácticas de economía circular al identificar qué materiales pueden recuperarse, reciclarse o venderse, en lugar de enviarse a un vertedero.

El gemelo digital garantiza que la información obtenida durante el diseño nunca se pierda, que se verifique la precisión de la construcción y que se maximice la eficiencia de las operaciones, convirtiendo en última instancia el edificio de un objeto estático en un activo inteligente y en constante evolución.

Matriz de alineación de KPI

La correspondencia de los KPI del gemelo digital en cada etapa del ciclo de vida con los principios de gestión de activos de la norma ISO 55000 y los Principios de Géminis (Confianza, Valor, Función) se presenta en la Matriz de alineación de KPI y en la Figura 10.

Fase del ciclo de vida	KPI supervisados	Alineación con los principios de la norma ISO 55000	Alineación con los principios Gemini
Fase 1: Diseño y preconstrucción	Previsiones de demanda energética. Proyecciones de la huella de carbono. Métricas de integridad estructural. Simulaciones del comportamiento de los y las ocupantes.	Creación de valor: garantiza que las decisiones de diseño optimicen el rendimiento a largo plazo de los activos. Alineación: integra la sostenibilidad y las necesidades de las partes interesadas. Liderazgo: Orienta la estrategia de los activos en las primeras etapas.	Confianza: modelización transparente de los impactos de la sostenibilidad. Valor: El diseño optimizado reduce los costes del ciclo de vida. Funcionalidad: Garantiza que el diseño cumpla los objetivos operativos.
Fase 2: Construcción y puesta en marcha	Detección de conflictos. Precisión de la instalación. Rendimiento de la cadena de suministro. Productividad laboral. Cumplimiento de las normas de seguridad.	Gestión de riesgos: identifica y mitiga los errores de construcción. Enfoque de ciclo de vida: garantiza una transición fluida del diseño a la operación. Garantía: valida la integridad de los activos antes de la entrega.	Confianza: los datos en tiempo real garantizan la precisión y la responsabilidad. Valor: reduce las repeticiones de trabajo y los sobrecostes. Funcionalidad: Proporciona un «activo vivo» listo para su puesta en servicio.
Fase 3: Operaciones y mantenimiento	Estado de los equipos. Alertas de mantenimiento predictivo. Consumo energético. Ocupación y uso del espacio. Calidad ambiental interior.	Evaluación del rendimiento: supervisión continua del estado de los activos. Sostenibilidad: optimiza el uso de energía y recursos. Mejora: permite un mantenimiento y una adaptación proactivos.	Confianza: información fiable basada en el IoT. Valor: Prolonga la vida útil de los activos y reduce el tiempo de inactividad. Funcionalidad: Mejora la experiencia de uso y la eficiencia operativa.
Fase 4: Modernización y fin de vida útil	Integridad del pasaporte de materiales. Reciclabilidad y potencial de reutilización. Viabilidad de la modernización. Métricas de economía circular.	Sostenibilidad: Favorece la economía circular y la recuperación de recursos. Enfoque del ciclo de vida: gestiona la transición hacia la reutilización o la eliminación. Realización de valor: extrae el máximo valor residual.	Confianza: registros históricos precisos de los materiales. Valor: Permite reformas y reciclajes rentables. Función: Facilita la reutilización adaptativa y el desmantelamiento responsable.

La norma ISO 55000 hace hincapié en la creación de valor, el enfoque del ciclo de vida, la gestión de riesgos y la sostenibilidad. Cada KPI respalda directamente estos principios al garantizar que los activos se gestionen de forma integral, desde el diseño hasta la eliminación. Los principios de Gemini (confianza, valor, función) actúan como la columna vertebral ética y operativa de los gemelos digitales. Los KPI garantizan la transparencia (confianza), los beneficios cuantificables (valor) y la usabilidad práctica (función). Este esquema muestra que los gemelos digitales no son solo herramientas técnicas, sino marcos de gobernanza en acción, alineados con las normas internacionales para la gestión responsable de activos.

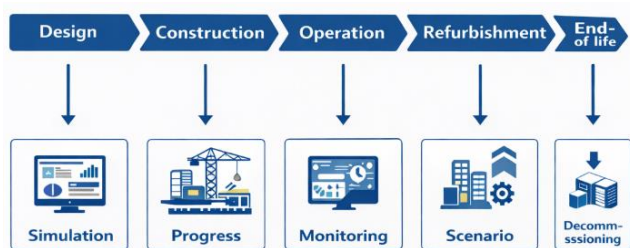


Figura 10: Ciclo de vida de los activos con el apoyo de Digital Twin.

Fase	Nivel de valor	Beneficios típicos
Diseño	Medio	Diseño optimizado
Construcción	Medio	Reducción de riesgos
Funcionamiento	Alto	Ahorro de costes y energía

Figura 11: Aportación de valor por fase del ciclo de vida.

Ejercicio

Identifique qué fase del ciclo de vida ofrece el mayor beneficio para su organización.

Explicación del ejercicio

En esta actividad, identificará qué fase del ciclo de vida ofrece el mayor beneficio para su organización al aplicar la tecnología de gemelo digital.

- ▶ Paso 1: Revise las diferentes fases del ciclo de vida de los activos (diseño, construcción, operación, mantenimiento y fin de vida útil).
- ▶ Paso 2: Considere cómo los gemelos digitales podrían aportar valor en cada fase, por ejemplo, mejorando la precisión del diseño, optimizando los procesos de construcción, aumentando la eficiencia operativa o facilitando el mantenimiento predictivo.
- ▶ Paso 3: Seleccione la fase en la que cree que su organización obtendría el mayor beneficio y explique por qué.

6. Aplicaciones prácticas y casos de estudio

Las aplicaciones de gemelos digitales se implementan cada vez más a través de proyectos piloto y de demostración en edificios, infraestructuras y ciudades, lo que favorece una gestión de activos más inteligente y sostenible (Batty et al., 2012: [\[12\]](#); Comisión Europea, Europa Digital: [\[13\]](#)).

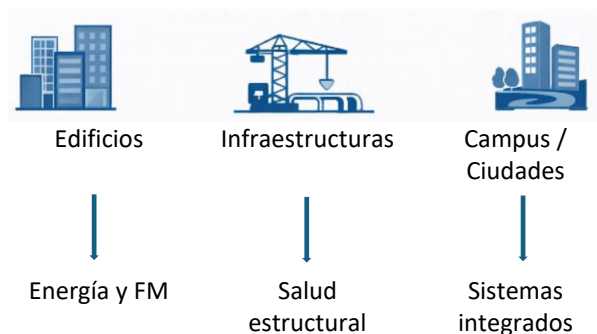


Figura 12: Ámbitos de aplicación del gemelo digital.

Aplicación	Objetivo principal	Fuentes de datos	Beneficio principal
Energía DT	Reducir el consumo de energía	Sensores, BMS	Ahorro de costes
Puente DT	Supervisión de la seguridad	Sensores, escaneos	Ahorro de costes
Campus DT	Gestión de activos	BIM, IoT	Eficiencia operativa

Figura 13: Matriz comparativa de casos prácticos.

La aplicación práctica de los gemelos digitales sigue una trayectoria modular (Figura 12), en la que la inteligencia a nivel de edificio sirve como base fundamental para ecosistemas más amplios a escala de infraestructura y de ciudad. Al examinar estos tres ámbitos, podemos ver cómo la tecnología se adapta desde la gestión de una sola habitación hasta la coordinación de entornos urbanos completos.

Edificios: Gestión energética y de instalaciones (FM)

En el nivel más granular, el gemelo digital actúa como el «sistema operativo» de estructuras individuales. El objetivo principal aquí es la optimización de los entornos internos y la conservación de los activos mecánicos.

- ▶ Optimización energética: los gemelos digitales se integran con los sistemas de gestión de edificios (BMS) para crear un bucle de retroalimentación. Por ejemplo, en complejos de oficinas de alta gama, los gemelos analizan datos de ocupación en tiempo real para «desviar» los puntos de consigna de la climatización en zonas vacías. Esto hace que la FM pase de los programas reactivos a un mantenimiento basado en la demanda, en el que la limpieza y la calefacción se producen solo cuando y donde se necesitan.
- ▶ Perspectiva del caso práctico: Los proyectos piloto en el sector comercial han demostrado que, al utilizar un gemelo para simular las cargas térmicas, las instalaciones pueden reducir la demanda energética máxima entre un 15 % y un 20 %, lo que repercute directamente tanto en los resultados financieros como en los informes de emisiones de carbono.

Infraestructuras: monitorización del estado estructural

Cuando se aplica a infraestructuras, como puentes, túneles y centros de transporte, el gemelo digital pasa de la gestión del confort a la seguridad y la longevidad.

- ▶ Salud estructural: Mediante sensores de fibra óptica y acelerómetros, el gemelo supervisa la tensión, la deformación y la vibración en tiempo real. Esto crea un «historial médico» del activo, lo que permite detectar grietas microscópicas o fatiga mucho antes de que sean visibles a simple vista.
- ▶ Perspectiva del caso práctico: Los grandes proyectos de puentes utilizan ahora «sombras digitales» para comparar los datos de carga reales con las tolerancias del diseño original. Esto permite un mantenimiento basado en el estado, lo que prolonga el ciclo de vida de la infraestructura en décadas y evita el enorme coste de carbono que supone una sustitución prematura.

Campus y ciudades: sistemas integrados

En el nivel más alto de complejidad, los gemelos digitales agregan datos de múltiples edificios y activos de infraestructura para gestionar campus y ciudades como un único organismo integrado.

- ▶ Sistema de sistemas: en este ámbito, el gemelo rompe los silos entre los diferentes servicios públicos. Conecta las redes energéticas con los flujos de transporte y los sistemas de gestión del agua. Por ejemplo, un gemelo a escala de ciudad puede simular cómo una tormenta repentina afectará tanto a la infraestructura de drenaje como al flujo de tráfico en las calles circundantes.
- ▶ Análisis de un caso práctico: Proyectos como «Virtual Singapore» o el «Smart Campus» de la Universidad de Cambridge utilizan estos gemelos para poner a prueba la resiliencia urbana. Al visualizar el «sistema integrado», las personas responsable de la planificación pueden determinar cómo un corte de suministro eléctrico en un sector podría propagarse a otro, lo que permite diseñar entornos urbanos más robustos y capaces de autorrepararse.

Ejercicio

Identifique una aplicación de la tabla que pudiera ponerse a prueba de forma realista en su organización.

Explicación del ejercicio

En esta actividad, identificará una aplicación de la tabla que podría ponerse a prueba de forma realista en su organización.

- ▶ Paso 1: Revisa las aplicaciones enumeradas en la tabla (por ejemplo, mantenimiento predictivo, optimización energética, monitorización de ocupación, planificación logística).
- ▶ Paso 2: Considere cuál de estas aplicaciones es más relevante para las necesidades actuales, los recursos y la madurez digital de su organización.
- ▶ Paso 3: Seleccione una aplicación que se pudiera poner a prueba y explique por qué es viable, qué beneficios podría aportar y qué limitaciones habría que gestionar.

7. El papel de los drones y el escaneo láser

Las tecnologías de captura de la realidad, como los drones, el escaneo láser y la fotogrametría, proporcionan representaciones precisas y actualizadas de los activos físicos y respaldan la actualización y validación de los gemelos digitales (Kritzinger et al., 2018 [\[6\]](#); Tao et al., 2019 [\[5\]](#)).

Los gemelos digitales se basan en datos precisos, oportunos y exhaustivos para representar los activos físicos en un entorno virtual. Uno de los factores más críticos para lograr esta precisión es la tecnología de captura de la realidad. Entre los métodos más utilizados se encuentran los drones, el escaneo láser y la fotogrametría. Estas herramientas proporcionan la base para actualizar, validar y mantener los gemelos digitales, garantizando que la representación digital siga estando alineada con el activo del mundo real.

La captura de la realidad se refiere al proceso de recopilar información precisa sobre el mundo físico y convertirla en formatos digitales. En el entorno construido, esto suele significar capturar la geometría, el estado y el contexto de edificios, infraestructuras o paisajes. Tecnologías como los drones y los escáneres láser han transformado este proceso, haciéndolo más rápido, seguro y preciso que los levantamientos manuales tradicionales.

Drones

Los drones se utilizan cada vez más para inspecciones y monitorización. Equipados con cámaras de alta resolución, sensores térmicos o unidades LiDAR, los drones pueden inspeccionar rápidamente tejados, fachadas, puentes y otras zonas de difícil acceso. Su movilidad les permite cubrir grandes áreas en poco tiempo, reduciendo la necesidad de andamios o de escaladas manuales. En el caso de los gemelos digitales, los drones proporcionan imágenes y mediciones actualizadas que pueden integrarse en modelos para la planificación del mantenimiento, las comprobaciones de

seguridad o el análisis del rendimiento energético. Las ventajas son evidentes: rapidez, flexibilidad y menor riesgo para las personas encargadas de la inspección. Sin embargo, los drones también tienen limitaciones. Las condiciones meteorológicas, las normativas de vuelo y la duración de la batería pueden restringir su uso. Además, aunque los drones destacan en la captura visual, es posible que no siempre ofrezcan el mismo nivel de precisión geométrica que el escaneo láser.

Escaneo láser

El escaneo láser, a menudo denominado LiDAR (Light Detection and Ranging), ofrece una precisión sin igual a la hora de capturar la geometría de los activos físicos. Un escáner láser emite pulsos de luz y mide el tiempo que tardan en regresar, creando una densa «nube de puntos» que representa las superficies en tres dimensiones. Este método resulta especialmente valioso para estructuras complejas, espacios interiores y áreas en las que se requiere una precisión milimétrica. En el caso de los gemelos digitales, el escaneo láser garantiza que el modelo digital refleje las dimensiones y condiciones exactas del activo, lo que facilita tareas como la detección de colisiones, la planificación de renovaciones y el análisis estructural. Las limitaciones del escaneo láser incluyen unos costes más elevados, la necesidad de contar con conocimientos especializados y unos tiempos de configuración más largos en comparación con los drones.

Fotogrametría

La fotogrametría complementa estos métodos utilizando fotografías superpuestas para generar modelos 3D. Aunque es menos precisa que el escaneo láser, la fotogrametría es rentable y puede realizarse con cámaras estándar, incluidas las montadas en drones. Resulta especialmente útil para la cartografía y la visualización a gran escala, ya que proporciona texturas realistas e información contextual.

En conjunto, estas tecnologías forman un conjunto de herramientas para la captura de la realidad. La elección del método depende de los requisitos específicos del proyecto. Por ejemplo, para una inspección rápida de un tejado puede ser más adecuado el uso de drones, mientras que un plan de renovación detallado para un edificio patrimonial puede requerir el escaneo láser. En muchos casos, la combinación de métodos ofrece los mejores resultados, utilizando drones para una cobertura rápida y el escaneo láser para la precisión.

El papel de la captura de la realidad en los gemelos digitales va más allá de la creación inicial. Los activos evolucionan con el tiempo debido al desgaste, el mantenimiento o las modificaciones. La captura continua o periódica garantiza que el gemelo digital siga siendo un modelo vivo, que refleje el estado actual del activo. Esta actualización dinámica es lo que convierte a los gemelos digitales en potentes herramientas para la toma de decisiones, la gestión de riesgos y la optimización de activos a largo plazo.

Desde una perspectiva organizativa, la adopción de tecnologías de captura de la realidad requiere tener en cuenta las competencias, los costes y los flujos de trabajo. Los equipos deben recibir formación para manejar drones de forma segura, procesar nubes de puntos e integrar datos en sistemas BIM o de gestión de instalaciones. Las inversiones en equipos y *software* deben sopesarse con los beneficios esperados, como la reducción de los costes de inspección, la mejora de la seguridad y la toma de decisiones mejor fundamentadas.

En resumen, los drones, el escaneo láser y la fotogrametría son facilitadores esenciales de los gemelos digitales en el entorno construido (Figura 14). Cada método ofrece ventajas distintas y se enfrenta a limitaciones específicas. Comprender estas compensaciones permite a las organizaciones seleccionar la tecnología adecuada para cada tarea, garantizando que sus gemelos digitales sean precisos, fiables y valiosos a lo largo del ciclo de vida del activo.

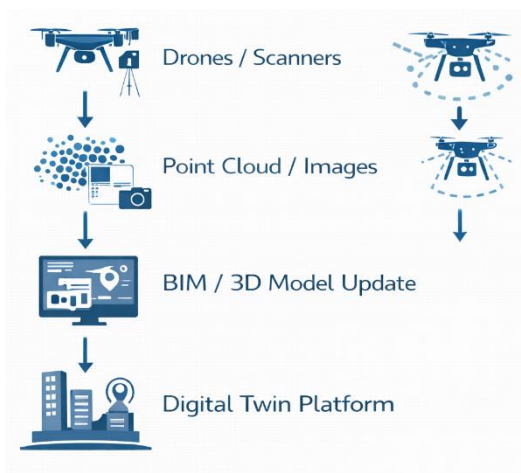


Figura 14: Flujo de trabajo de captura de la realidad a gemelo digital.

Criterios	Drones	Escaneo láser	Escaneo láser	Fotogrametría
Criterios	Grandes superficies	Local / detallado	✓ Áreas de tamaño medio a grande	✓ Áreas de tamaño medio a grande
Cobertura	✓ Media	✓ Muy alta	✓ Alta	✓ Alta
Precisión	✓ Muy rápido	✓ Medio	✓ Medio	✓ Medio
Velocidad	✓ Muy rápido	✓ Mapas 2D/3D	✓ Nubes de puntos 3D densas	✓ Modelos 3D con textura
Salida de datos	✓ Mapas 2D/3D	✓ Modelos de obra terminada, mediciones	✓ Tal y como está construido, mediciones	✓ Cartografía topográfica
Usos habituales	✓ Inspecciones, levantamientos	✓	✓ Cartografía topográfica	✓ Cartografía topográfica, modelado 3D

Figura 15: Comparación entre drones, escaneo láser y fotogrametría.

Ejercicio

Decida qué tecnología es más adecuada para las inspecciones de tejados y explique por qué.

Explicación del ejercicio

En esta actividad, decidirás qué tecnología es más adecuada para las inspecciones de tejados, si los drones o el escaneo láser, y explicarás por qué.

- ▶ Paso 1: Repasa las características de ambas tecnologías.
 - Drones: proporcionan vistas aéreas, acceso rápido a zonas de difícil acceso e imágenes en tiempo real.
 - Escaneo láser: ofrece mediciones 3D de alta precisión, geometría detallada y documentación precisa.
- ▶ Paso 2: Ten en cuenta las necesidades específicas de las inspecciones de tejados en tu organización (por ejemplo, seguridad, rapidez, nivel de detalle, coste).
- ▶ Paso 3: Seleccione la tecnología que mejor se adapte a esas necesidades y explique su razonamiento

8. Retos, riesgos y limitaciones

A pesar de su potencial, los gemelos digitales plantean riesgos relacionados con la tecnología, la gobernanza de datos, la preparación organizativa y la ciberseguridad, lo que requiere enfoques de mitigación estructurados (Comisión Europea, 2020 – Estrategia de datos de la UE [13]).

Los gemelos digitales ofrecen enormes posibilidades para el entorno construido, proporcionando nuevas formas de gestionar activos, mejorar la eficiencia y respaldar la toma de decisiones informadas. Sin embargo, su adopción no está exenta de retos. Para garantizar una implementación exitosa, las organizaciones deben reconocer y abordar los riesgos que acompañan a los proyectos de gemelos digitales. Estos riesgos se clasifican en cuatro grandes categorías: técnicos, de datos, organizativos y legales/de seguridad. Comprender cada categoría, junto con su impacto potencial y las estrategias de mitigación, es esencial para desarrollar iniciativas de gemelos digitales resilientes y sostenibles (Figura 16).

Riesgos técnicos

Los riesgos técnicos surgen de la complejidad de integrar múltiples sistemas y tecnologías. Los gemelos digitales dependen de que los sensores del IoT, los modelos BIM, las plataformas en la nube y las herramientas de análisis funcionen juntos a la perfección. Una integración deficiente entre estos sistemas puede dar lugar a representaciones inexactas o incompletas del activo físico. Por ejemplo, si los datos de los sensores no se sincronizan con el modelo BIM, el gemelo digital puede proporcionar información engañosa. El impacto de tales fallos es elevado, ya que socavan la confianza en el modelo y pueden conducir a una toma de decisiones deficiente.

Mitigación: Es fundamental establecer normas técnicas claras y protocolos de interoperabilidad. Las organizaciones deben adoptar los estándares del sector para el intercambio de datos e invertir en pruebas rigurosas antes de ampliar los proyectos.

Riesgos relacionados con los datos

Los datos son la base de los gemelos digitales, pero también constituyen una importante fuente de riesgo. Una baja calidad de los datos, como la información incompleta, incoherente u obsoleta, puede comprometer la precisión del modelo. Sin datos fiables, ni siquiera el gemelo digital más avanzado podrá aportar valor. El impacto de una mala calidad de los datos es elevado, ya que afecta directamente a la credibilidad de los conocimientos y las decisiones.

Mitigación: Es esencial contar con marcos sólidos de gobernanza de datos. Esto incluye normas claras para la recopilación, validación, almacenamiento y acceso a los datos. Las organizaciones también deben asignar la responsabilidad de la gestión de los datos para garantizar la rendición de cuentas y la coherencia.

Riesgos organizativos

La adopción de gemelos digitales requiere que la organización esté preparada, y a menudo surgen riesgos cuando las competencias, la cultura o los procesos no están alineados con las nuevas tecnologías. Un reto común es la brecha de habilidades: el personal puede carecer de experiencia en análisis de datos, integración del IoT o flujos de trabajo BIM. La resistencia al cambio también puede ralentizar la adopción, especialmente si las personas empleadas perciben los gemelos digitales como algo disruptivo. El impacto de estos riesgos es moderado pero significativo, ya que pueden retrasar los proyectos y reducir la eficacia.

Mitigación: La formación y el desarrollo de capacidades son estrategias clave. Las organizaciones deben invertir en la mejora de las competencias del personal, fomentando la colaboración interdisciplinaria y promoviendo una cultura de innovación. El apoyo del liderazgo y una comunicación clara sobre los beneficios de los gemelos digitales también pueden reducir la resistencia.

Riesgos legales y de seguridad

Los gemelos digitales suelen implicar datos sensibles, lo que los hace vulnerables a riesgos legales y de ciberseguridad. El acceso no autorizado, las filtraciones de datos o la manipulación maliciosa de los modelos pueden tener graves consecuencias, especialmente en infraestructuras críticas. El cumplimiento de las normativas de protección de datos, como el RGPD, añade otra capa de complejidad. El impacto de estos riesgos es elevado, ya que pueden minar la confianza, acarrear sanciones económicas y poner en peligro la seguridad.

Mitigación: Es esencial implementar controles de seguridad sólidos. Esto incluye el cifrado, la gestión de accesos, auditorías periódicas y una supervisión continua. El cumplimiento normativo también debe integrarse en la planificación del proyecto, garantizando que el uso de los datos se ajuste a los requisitos reglamentarios.

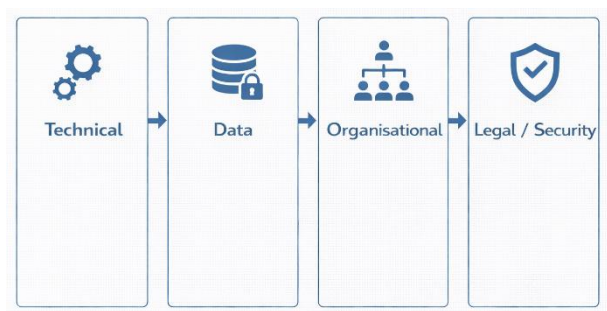


Figura 16. Categorías de riesgo del gemelo digital.

Categoría de riesgo	Ejemplo de riesgo	Impacto	Mitigación
Técnico	Integración de puntos	Alto	Normas
Datos	Baja calidad de los datos	Alta	Gobernanza

Categoría de riesgo	Ejemplo de riesgo	Impacto	Mitigación
Técnico	Integración de puntos	Alto	Normas
Datos	Baja calidad de los datos	Alta	Gobernanza

Figura 17. Matriz de riesgos.

Ejercicio

Clasifique los riesgos según su probabilidad en su contexto.

Explicación del ejercicio

En esta actividad, clasificará los riesgos relacionados con los proyectos de gemelos digitales según su probabilidad en el contexto de su organización.

- ▶ Paso 1: Revise las categorías clave de riesgo (por ejemplo, riesgos técnicos, riesgos operativos, riesgos organizativos, riesgos financieros).
- ▶ Paso 2: Considere la probabilidad de que cada riesgo se produzca en su organización, basándose en sus sistemas, procesos y recursos actuales.
- ▶ Paso 3: Clasifique los riesgos de mayor a menor probabilidad y explique su razonamiento.

9. Requisitos de preparación y competencias organizativas

Los gemelos digitales requieren nuevas competencias en funciones técnicas, de gestión y estratégicas, así como el compromiso del liderazgo y la gestión del cambio (CDBB, 2020 [\[4\]](#); Comisión Europea, Digital Europe [\[13\]](#)).

Los gemelos digitales no son solo innovaciones tecnológicas; son transformaciones organizativas. Su adopción exitosa depende de la capacidad de las organizaciones para alinear la estrategia, los procesos, las competencias y el liderazgo con las exigencias de este nuevo paradigma. Si bien la infraestructura técnica es esencial, los factores humanos y organizativos suelen determinar si un proyecto de gemelo digital prospera o fracasa.

Los gemelos digitales requieren nuevas competencias en funciones técnicas, de gestión y estratégicas. También exigen el compromiso del liderazgo y cambios de gestión eficaces. Para estructurar esta complejidad, podemos pensar en la preparación organizativa en términos de capas de capacidad.

Estrategia y liderazgo

En el nivel superior, el liderazgo debe articular una visión clara de cómo los gemelos digitales respaldarán los objetivos de la organización. Esto implica alinear los proyectos con estrategias más amplias, como la sostenibilidad, la eficiencia o la innovación. El compromiso del liderazgo garantiza que se asignen recursos, se establezcan prioridades y se logre la aceptación cultural. Sin una dirección estratégica, las iniciativas de gemelos digitales corren el riesgo de convertirse en proyectos piloto aislados con un impacto limitado.

Procesos y gobernanza

El segundo nivel se centra en los procesos organizativos y los marcos de gobernanza. Los gemelos digitales se basan en flujos de trabajo estructurados para la recopilación, validación e integración de datos. La gobernanza garantiza que las responsabilidades sean claras, que se apliquen las normas y que se mantenga el cumplimiento de la normativa. Los procesos eficaces también favorecen la escalabilidad, lo que permite que los gemelos digitales pasen de ser proyectos piloto a adoptarse en toda la empresa.

Competencias y tecnología

En la base, las organizaciones deben desarrollar las competencias técnicas y humanas necesarias para operar los gemelos digitales. Esto incluye conocimientos especializados en BIM, integración del IoT, análisis de datos y sistemas de monitorización. Igualmente importantes son las habilidades sociales, como la colaboración, la resolución de problemas y la adaptabilidad. La tecnología proporciona las herramientas, pero se necesita personal cualificado para interpretar los datos, generar conocimientos y actuar en consecuencia.

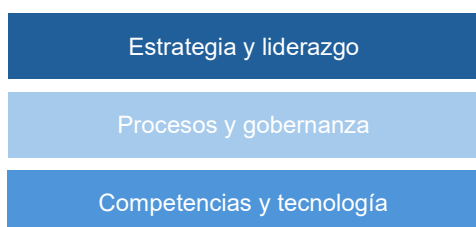


Figura 18. Niveles de capacidad organizativa.

Función	Competencias clave	Nivel
Gerente	Estrategia, gobernanza	Medio
Ingeniero	BIM, datos	Alto
Operador	Supervisión	Medio

Figura 19. Matriz de competencias del gemelo digital.

La figura 19 ilustra cómo las diferentes funciones contribuyen al éxito del gemelo digital. La dirección debe comprender la estrategia y la gobernanza, garantizando que los proyectos se ajusten a los objetivos de la organización. Los equipos de ingeniería necesitan competencias técnicas de alto nivel en BIM y gestión de datos, ya que son responsables de construir y mantener la infraestructura del gemelo digital. El personal operario desempeña un papel crucial en la supervisión y el mantenimiento de los sistemas, garantizando que los flujos de datos sigan siendo precisos y fiables. Varios retos pueden obstaculizar la preparación de la organización:

- ▶ Deficiencias de competencias: Muchas organizaciones carecen de personal con conocimientos avanzados en análisis de datos o integración BIM.
- ▶ Resistencia cultural: Los empleados pueden mostrarse reacios a adoptar nuevos flujos de trabajo o a confiar en los sistemas digitales.
- ▶ Incertidumbre en el liderazgo: sin una dirección estratégica clara, los proyectos pueden carecer de enfoque o no conseguir financiación.
- ▶ Fragmentación de los procesos: una gobernanza débil puede dar lugar a prácticas de datos incoherentes y a modelos poco fiables.

Estos retos ponen de relieve la importancia de un desarrollo de capacidades estructurado. Los programas de formación, la colaboración interdisciplinar y el compromiso del liderazgo son esenciales para superar las barreras.

La preparación organizativa no es un requisito puntual, sino un proceso continuo. A medida que evolucionan los gemelos digitales, también deben hacerlo las competencias, los procesos y las estrategias que los respaldan. El éxito depende de considerar los gemelos digitales no como tecnologías aisladas, sino como parte de una transformación organizativa más amplia.

Para estudiantes y profesionales, la lección clave es que la adopción de los gemelos digitales requiere un enfoque por capas: un liderazgo sólido para marcar el rumbo, una gobernanza que garantice la fiabilidad y las competencias necesarias para manejar la tecnología de forma eficaz. Al fortalecer cada capa, las organizaciones pueden desarrollar la resiliencia y la capacidad necesarias para liberar todo el potencial de los gemelos digitales en el entorno construido.

Ejercicio

Realice un análisis básico de las carencias de competencias utilizando la matriz anterior.

Explicación del ejercicio

En esta actividad, realizará un análisis básico de las carencias de competencias utilizando la matriz proporcionada.

- ▶ Paso 1: Revise las competencias enumeradas en la matriz (por ejemplo, gestión de datos, experiencia en BIM, integración del IoT, análisis de datos, gestión del cambio).
- ▶ Paso 2: Evalúe el nivel actual de capacidad de su organización para cada competencia (p. ej., alto, moderado, limitado).
- ▶ Paso 3: Compare la capacidad actual con el nivel requerido para una implementación exitosa del gemelo digital.
- ▶ Paso 4: Identifica dónde se encuentran las mayores carencias y anótalas.

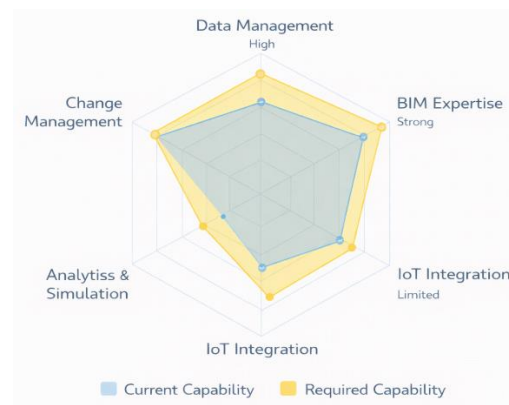


Figura 20. Gráfico radial de las carencias de competencias

10. Estrategias para la introducción de gemelos digitales en la práctica y la formación

La introducción de gemelos digitales resulta más eficaz cuando se aborda de forma incremental mediante proyectos piloto, la participación de las partes interesadas y la formación continua, en consonancia con las estrategias europeas de transformación digital [3]; [13].

Los gemelos digitales representan una potente innovación para el entorno construido, pero su adopción requiere una planificación cuidadosa y enfoques estructurados. Las organizaciones que intentan implementar gemelos digitales sin una hoja de ruta clara a menudo se enfrentan a retos como sistemas fragmentados, objetivos poco claros o resistencia por parte de las partes interesadas. Para evitar estos escollos, es esencial seguir una estrategia por fases que fomente la concienciación, pruebe conceptos a través de proyectos piloto, integre sistemas, amplíe las soluciones exitosas y, en última instancia, optimice el rendimiento.

La introducción de los gemelos digitales es más eficaz cuando se aborda de forma incremental. En lugar de intentar un despliegue a gran escala desde el principio, las organizaciones deben comenzar con pasos pequeños y manejables que les permitan aprender, adaptarse y generar confianza. Este enfoque incremental se alinea con las estrategias europeas de transformación digital, que hacen hincapié en los proyectos piloto, la participación de las partes interesadas y la formación continua como factores clave para el éxito (Grieves y Vickers, 2017; Comisión Europea, Europa Digital).

La hoja de ruta para la adopción de los gemelos digitales incluye cinco etapas.

► **Sensibilización**

La primera etapa consiste en fomentar la comprensión entre las partes interesadas. Las campañas de sensibilización, los talleres y las demostraciones ayudan a explicar qué son los gemelos digitales, por qué son importantes y cómo pueden contribuir a los objetivos de la organización. Esta etapa es fundamental para garantizar el compromiso de la dirección y reducir la resistencia al cambio.

► **Proyectos piloto**

Una vez que se ha creado la concienciación, las organizaciones deben poner en marcha proyectos piloto a pequeña escala. Estos proyectos piloto se centran en un único activo o proceso, lo que permite a los equipos experimentar con la captura, la integración y la visualización de datos. Los proyectos piloto proporcionan valiosas lecciones sobre la viabilidad técnica, la calidad de los datos y la preparación de la organización.

► **Integración**

Los proyectos piloto exitosos allanan el camino para la integración. En esta etapa, los gemelos digitales se vinculan con sistemas existentes, como BIM, plataformas de IoT y herramientas de gestión de instalaciones. La integración garantiza que los flujos de datos sean coherentes y que el gemelo digital se convierta en parte de las operaciones cotidianas, en lugar de un experimento aislado.

► **Ampliación**

Tras la integración, las organizaciones pueden ampliar los gemelos digitales a múltiples activos o emplazamientos. La ampliación implica replicar los enfoques exitosos, estandarizar los procesos y garantizar la interoperabilidad entre sistemas. Esta etapa requiere una sólida gobernanza y estrategias claras para gestionar la complejidad.

► **Optimización**

La etapa final se centra en la mejora continua. Las organizaciones perfeccionan sus gemelos digitales incorporando análisis avanzados, modelos predictivos y conocimientos basados en la IA. La optimización garantiza que los gemelos digitales aporten el máximo valor, favoreciendo la eficiencia, la sostenibilidad y la innovación a largo plazo.



Figura 21. Hoja de ruta para la adopción del gemelo digital.

Fase	Enfoque	Acciones clave
Proyecto piloto	Aprendizaje	Transformación digital a pequeña escala
Integración	Alineación	Vinculación de sistemas
Escalado	Expansión	Replicación

Figura 22. Matriz de estrategia de adopción.

La figura 21 destaca la progresión estructurada desde el aprendizaje a través de proyectos piloto, pasando por la alineación de sistemas durante la integración, hasta la expansión mediante el escalado. Cada fase tiene un enfoque y un conjunto de acciones distintos, lo que garantiza que la adopción sea gestionable y sostenible.

La hoja de ruta incremental hace hincapié en que la adopción de los gemelos digitales no es un evento aislado, sino un proceso. Cada etapa se basa en la anterior, lo que permite a las organizaciones aprender, adaptarse y reforzar sus capacidades. La concienciación garantiza que las partes interesadas comprendan la visión. Los proyectos piloto proporcionan experiencia práctica. La integración incorpora los gemelos digitales en los flujos de trabajo. El escalado amplía su alcance. La optimización garantiza la mejora continua.

Para estudiantes y profesionales, la lección clave es que los enfoques estructurados reducen el riesgo y aumentan las probabilidades de éxito. Siguiendo una hoja de ruta y alineando las estrategias de adopción con las prioridades de la organización, los gemelos digitales pueden pasar del concepto a la práctica, aportando valor real en el entorno construido.

Ejercicio

Esboce una hoja de ruta realista de un año para los gemelos digitales de un activo seleccionado.

Explicación del ejercicio

En esta actividad, esbozará una hoja de ruta realista de un año para introducir un gemelo digital para un activo seleccionado (por ejemplo, un edificio, una máquina o un componente de infraestructura).

- ▶ Paso 1: Elija un activo que sea relevante para su organización.
- ▶ Paso 2: Desglose la hoja de ruta en fases a lo largo del año (por ejemplo, preparación, prueba piloto, ampliación, evaluación).
- ▶ Paso 3: Defina las acciones clave de cada fase, como la recopilación de datos, la integración tecnológica, la formación y la participación de las partes interesadas.
- ▶ Paso 4: Asegúrese de que la hoja de ruta sea realista teniendo en cuenta los recursos disponibles, las competencias y la preparación de la organización.

Ejercicios

Elija la mejor respuesta para cada pregunta. La clave de respuestas se encuentra al final de esta sección.

1. **1. ¿Cuál es la principal diferencia entre el BIM y un gemelo digital?**
 - A) Los modelos BIM son siempre en 2D
 - B) El BIM solo funciona durante la construcción
 - C) Los gemelos digitales integran datos operativos en tiempo real del activo físico
 - D) Los gemelos digitales no utilizan modelos 3D
2. **¿Qué tecnología se utiliza principalmente para capturar la geometría 3D de alta precisión de los edificios?**
 - A) Escaneo láser
 - B) *Software* de hojas de cálculo
 - C) Herramientas de procesamiento de texto
 - D) Sistemas de correo electrónico
3. **¿Cuál es la función principal de los sensores IoT en un sistema de gemelo digital?**
 - A) Crear planos
 - B) Recopilar datos en tiempo real de activos físicos
 - C) Sustituir al equipo de ingeniería
 - D) Generar permisos de construcción
4. **¿Qué significa CDE en los entornos de construcción digital?**
 - A) Motor central de datos
 - B) Entorno de datos común
 - C) Motor de diseño de la construcción
 - D) Intercambio digital informático
5. **¿Qué fase del ciclo de vida suele obtener el mayor valor a largo plazo de los gemelos digitales?**
 - A) Fase de diseño
 - B) Fase de construcción
 - C) Fase de operación y mantenimiento
 - D) Fase de adquisición
6. **¿Qué es una nube de puntos?**
 - A) Una colección de puntos espaciales que representan la geometría del mundo real
 - B) Un tipo de almacenamiento en la nube
 - C) Un programa de *software* BIM
 - D) Un protocolo de red
7. **¿Qué organización promueve estándares abiertos como IFC para la interoperabilidad BIM?**
 - A) BuildingSMART International
 - B) NASA
 - C) Banco Mundial
 - D) La UNESCO
8. **¿Qué es el mantenimiento predictivo?**
 - A) Reparar los sistemas solo después de que se produzcan fallos

- B) Programar el mantenimiento de forma aleatoria
- C) Utilizar el análisis de datos para anticipar las averías antes de que se produzcan
- D) Eliminar el mantenimiento por completo

9. ¿Qué tecnología es la más adecuada para inspecciones aéreas a gran escala de edificios o infraestructuras?

- A) Drones (UAV)
- B) El dibujo manual
- C) Comunicación por correo electrónico
- D) Análisis de hojas de cálculo

10. ¿Cuál es el objetivo de la capa de análisis del gemelo digital?

- A) Analizar datos y apoyar la toma de decisiones
- B) Almacenar materiales físicos
- C) Sustituir los modelos BIM
- D) Eliminar la recopilación de datos

Respuestas

1) C 2) A 3) B 4) B 5) C 6) A 7) A 8) C 9) A 10) A

Referencias

1. <https://www.iso.org/standard/68078.html>
2. <https://www.buildingsmart.org/about/openbim/>
3. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-38756-7_4
4. <https://www.cdbb.cam.ac.uk/what-we-do/the-gemini-principles>
5. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8703136>
6. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896318315298>
7. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-32156-1_5
8. <https://www.iso.org/standard/84626.html>
9. <https://www.iso.org/standard/68078.html>
10. <https://www.buildingsmart.org/standards/bsi-standards/industry-foundation-classes/>
11. <https://www.iso.org/standard/55088.html>
12. <https://link.springer.com/article/10.1140/epjst/e2012-01703-3>
13. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/activities/digital-programme>
14. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/strategy-data>

Tema 2: Inteligencia artificial y tecnologías de realidad aumentada para entornos contruidos más inteligentes

Objetivos y resultados de aprendizaje y glosario

Objetivos de aprendizaje

- ▶ Identificar técnicas de IA aplicables al BIM, los gemelos digitales y la gestión de activos.
- ▶ Comprender cómo la IA respalda el mantenimiento predictivo, la gestión de riesgos y la optimización en el entorno construido.
- ▶ Reconocer el papel de la visión artificial en la construcción y la supervisión de infraestructuras.
- ▶ Comprender las tecnologías de RA y RV y sus usos prácticos a lo largo del ciclo de vida de los activos.
- ▶ Evaluar el papel de la IA en el aprendizaje, el desarrollo de competencias y el fortalecimiento de la capacidad organizativa.
- ▶ Reflexionar sobre las implicaciones éticas, legales y organizativas de la adopción de la IA.
- ▶ Definir estrategias realistas y por fases para la implementación de la IA y los gemelos digitales.

Resultados del aprendizaje

- ▶ Explicar los conceptos clave y la terminología relacionados con la inteligencia artificial (IA) y describir cómo las tecnologías de IA respaldan la toma de decisiones basada en datos en el entorno construido.
- ▶ Identificar técnicas de IA relevantes para la construcción y la gestión de activos, incluyendo el análisis predictivo, los algoritmos de optimización, el procesamiento del lenguaje natural y la visión artificial.
- ▶ Describir cómo la IA puede mejorar los flujos de trabajo de BIM y gemelos digitales, especialmente en lo que respecta a la monitorización, el mantenimiento predictivo y la optimización del rendimiento.
- ▶ Distinguir entre Realidad Aumentada (RA) y Realidad Virtual (RV) y evaluar sus aplicaciones en la revisión de diseños, la orientación en la construcción, la formación y las actividades de mantenimiento.
- ▶ Evaluar las consideraciones éticas, legales y organizativas asociadas a la adopción de la IA, incluyendo la gobernanza de datos, la transparencia y las estrategias de implementación responsable.

Glosario

Inteligencia artificial (IA)	Sistemas informáticos capaces de realizar tareas que normalmente requieren inteligencia humana, como el aprendizaje, el razonamiento, el reconocimiento de patrones y el apoyo a la toma de decisiones.
Aprendizaje automático (ML)	Un subconjunto de la IA en el que los sistemas aprenden patrones a partir de datos y mejoran su rendimiento sin ser programados explícitamente.
Aprendizaje profundo	Una forma avanzada de aprendizaje automático que utiliza redes neuronales de múltiples capas para analizar datos complejos, como imágenes o el habla.
Redes neuronales	Modelos computacionales inspirados en el cerebro humano que procesan datos a través de nodos interconectados para identificar patrones y relaciones.
Análisis predictivo	Técnicas de IA que utilizan datos históricos y en tiempo real para predecir acontecimientos futuros, como fallos en los equipos o retrasos en los proyectos.
Algoritmos de optimización	Métodos matemáticos utilizados por la IA para determinar la solución más eficiente entre múltiples alternativas.
Procesamiento del lenguaje natural (PLN)	tecnología de IA que permite a los ordenadores analizar, comprender e interpretar el lenguaje humano en forma de texto o voz.
Visión artificial	campo de la IA que permite a las máquinas interpretar la información visual a partir de imágenes y vídeos.
Análisis de riesgos	Proceso de identificación, evaluación y priorización de riesgos mediante datos y herramientas analíticas.
Realidad aumentada (RA)	Tecnología que superpone información digital sobre el entorno del mundo real a través de dispositivos como teléfonos inteligentes o gafas inteligentes.
Realidad virtual (RV)	Tecnología que sumerge a las personas usuarias en un entorno completamente digital mediante cascos y controles interactivos.
Realidad mixta	Conjunto de tecnologías que fusionan entornos reales y virtuales, permitiendo la interacción entre objetos físicos y digitales.
Flujo de trabajo digital	Secuencia estructurada de procesos digitales que gestionan la información a lo largo de las fases del proyecto.
Gobernanza de datos	Políticas y procedimientos que controlan cómo se recopilan, almacenan, acceden y utilizan los datos.
Transparencia de los algoritmos	La capacidad de comprender cómo un sistema de IA genera sus resultados o recomendaciones.
Ética de la IA	Principios que garantizan que los sistemas de IA se utilicen de forma responsable, justa y transparente.
Gestión de riesgos de la IA	Procesos utilizados para identificar, evaluar y mitigar los riesgos relacionados con los sistemas de IA.
Aprendizaje adaptativo	Sistemas educativos que ajustan el contenido y la dificultad del aprendizaje en función del rendimiento y las necesidades del alumnado.

1. Fundamentos de la inteligencia artificial

La inteligencia artificial hace referencia a una familia de tecnologías digitales que permiten a los sistemas analizar datos, reconocer patrones y apoyar la toma de decisiones de tal manera que la IA simula ciertos aspectos del proceso de toma de decisiones humano. En el entorno construido, la IA no pretende sustituir la experiencia profesional, sino complementar el juicio humano mediante el procesamiento eficiente y coherente de grandes volúmenes de datos. [\[1\]](#) [\[2\]](#)

La relevancia de la IA ha aumentado rápidamente debido a la digitalización del diseño, la construcción y las operaciones. Los modelos BIM, los sensores, los sistemas de monitorización y los gemelos digitales generan flujos continuos de datos que superan la capacidad del análisis manual. La IA proporciona la capa analítica que transforma los datos brutos en información útil. [\[3\]](#) [\[4\]](#)

Es esencial que las y los profesionales entiendan la IA como una herramienta de apoyo y no como un tomador de decisiones autónomo. La rendición de cuentas, la interpretación y la responsabilidad ética recaen siempre en las personas. [\[5\]](#) [\[6\]](#)

La inteligencia artificial (IA) se refiere a los sistemas informáticos capaces de realizar tareas que normalmente requieren inteligencia humana, como el aprendizaje, el razonamiento, la percepción y la toma de decisiones [\[1\]](#) [\[2\]](#). En esencia, la IA se basa en el aprendizaje automático (*Machine Learning* - ML), en el que los sistemas mejoran a través de los datos. El aprendizaje puede ser supervisado, con datos etiquetados que guían los resultados, o no supervisado, en el que se descubren patrones sin etiquetas predefinidas. Entre los enfoques más avanzados de aprendizaje automático se incluyen el aprendizaje profundo y las redes neuronales, inspiradas en la estructura de los sistemas neuronales biológicos. En última instancia, la IA permite la toma de decisiones basada en datos, convirtiendo la información bruta en conocimientos útiles.

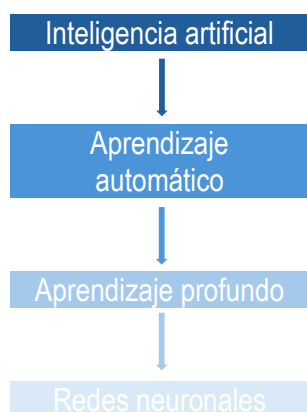


Figura 1: Jerarquía conceptual de la IA.

Tipo de tarea	Experiencia humana	Apoyo de IA
Criterio de diseño	Alto	Medio
Detección de patrones	Medio	Alto
Análisis repetitivo	Bajo	Alto
Decisiones éticas	Alto	Bajo

Figura 2: Capacidades humanas frente a capacidades de la IA.

Esta jerarquía (Figura 1) ilustra cómo el aprendizaje profundo es un subconjunto del aprendizaje automático, que a su vez es un subconjunto de la inteligencia artificial. [\[1\]](#) [\[2\]](#)

En la construcción y la gestión de instalaciones, la IA sirve de apoyo a los y las profesionales en lugar de sustituirlos. Mejora el análisis de conjuntos de datos complejos, como los modelos BIM y los datos de sensores.

Ejercicio 1

Identifica las decisiones diarias en tu trabajo que podrían contar con el apoyo de la IA.

Explicación del ejercicio

Este ejercicio pide a las y los participantes que reflexionen sobre sus actividades cotidianas en su puesto de trabajo e identifiquen las decisiones rutinarias que toman durante el diseño, la construcción, las operaciones, el mantenimiento o

la gestión de activos. Estas decisiones pueden basarse en la experiencia, el criterio técnico, la interpretación de informes, el seguimiento de datos o la comunicación con las partes interesadas.

Las personas que participan deben enumerar ejemplos de decisiones que toman personalmente (o que observan en su organización) y que implican la evaluación repetida de información, la priorización de acciones o la predicción de resultados. El enfoque no se centra en sistemas avanzados de IA, sino en oportunidades realistas en las que las herramientas de IA podrían ayudar procesando datos más rápidamente, detectando patrones o generando recomendaciones. El ejercicio anima al alumnado a pensar de forma práctica sobre dónde la IA podría aportar valor sin sustituir la responsabilidad profesional.

Ejercicio 2

Identifique dos tareas en su organización que actualmente dependan en gran medida del criterio de personas expertas y que podrían ser respaldadas por el análisis de IA.

Explicación del ejercicio

Algunos ejemplos son la evaluación del rendimiento energético, el diagnóstico de averías en los sistemas de los edificios, la priorización de las acciones de mantenimiento o el análisis de los datos de inspección. La IA puede facilitar una evaluación más rápida y coherente, mientras que las decisiones finales siguen estando en manos de las personas.

2. Técnicas de IA relevantes para el entorno construido

Comprender los métodos de IA a nivel conceptual permite a profesionales identificar casos de uso adecuados sin necesidad de contar con competencias técnicas de implementación. La selección de la técnica adecuada depende de la disponibilidad de datos, la madurez de la organización y el contexto de la decisión [\[7\]](#) [\[8\]](#) [\[9\]](#). Las técnicas clave son:

- ▶ **Análisis predictivo:** utiliza datos históricos y en tiempo real para pronosticar eventos futuros, como fallos de equipos, retrasos o demanda energética.
- ▶ **Algoritmos de optimización:** identifican la mejor solución entre muchas opciones para mejorar la eficiencia en la programación, la asignación de recursos o el uso de la energía.
- ▶ **Procesamiento del lenguaje natural (NLP):** permite a la IA analizar y extraer información útil de documentos de texto, como informes, contratos y registros de mantenimiento.
- ▶ **Visión artificial:** permite a la IA interpretar imágenes y vídeos para detectar defectos, supervisar el progreso y mejorar la seguridad en la construcción y las infraestructuras.

Ejemplos prácticos

Estos ejemplos muestran cómo el análisis predictivo, los algoritmos de optimización y el PLN se traducen en aplicaciones prácticas en el entorno construido. La predicción de retrasos mejora la gestión de proyectos, la optimización de los diseños mejora la sostenibilidad y la clasificación automatizada agiliza el manejo de la información, lo que en conjunto impulsa la eficiencia y una toma de decisiones más inteligente (Figura 3).

1. Predicción de retrasos basada en datos históricos de proyectos

- ▶ **Técnica:** Análisis predictivo.
- ▶ **Explicación:** Al analizar los plazos de proyectos anteriores, la asignación de recursos y las causas de los retrasos, los modelos predictivos pueden pronosticar riesgos potenciales en los proyectos actuales. Por ejemplo, si los datos históricos muestran que la instalación de sistemas de climatización suele retrasarse debido a problemas en la cadena de suministro, el análisis predictivo puede señalarlo con antelación.
- ▶ **Ventaja:** Permite una planificación proactiva, una mejor gestión de los recursos y una reducción de los sobrecostos de los proyectos.

2. Optimización de la distribución de los edificios para mejorar el rendimiento energético

- ▶ **Técnica:** Algoritmos de optimización

- Explicación: Los algoritmos pueden simular diferentes distribuciones y configuraciones de los edificios para minimizar el consumo energético. Por ejemplo, pueden optimizar la ubicación de las ventanas para aprovechar la luz natural, la zonificación de la climatización para mejorar la eficiencia o la orientación de las habitaciones para reducir las cargas de calefacción y refrigeración.
- Ventaja: Favorece el diseño sostenible, reduce los costes operativos y mejora el confort de las y los ocupantes.

3. Clasificación automatizada de documentos

- Técnica: Procesamiento del lenguaje natural (NLP).
- Explicación: El PLN puede clasificar automáticamente grandes volúmenes de documentos, como registros de mantenimiento, informes de cumplimiento o correspondencia de proyectos. Por ejemplo, puede distinguir entre informes de seguridad, registros financieros y manuales técnicos sin necesidad de clasificación manual.
- Valor: Ahorra tiempo, reduce los errores humanos y hace que los datos no estructurados sean consultables y procesables.

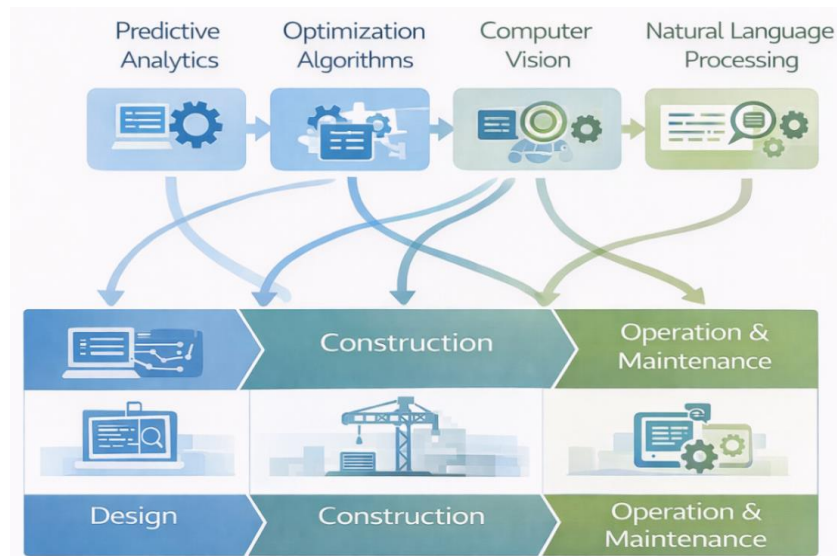


Figura 3: Asignación de técnicas de IA a las fases del ciclo de vida de la construcción

Ejercicio

Empareja una técnica de IA con un reto real en la construcción, las infraestructuras o la gestión de instalaciones.

Explicación del ejercicio

Análisis predictivo para la previsión de fallos en los equipos; optimización para alternativas de diseño energéticamente eficientes; visión artificial para la supervisión de la seguridad en la obra; PLN para el análisis de informes de mantenimiento y reclamaciones. [\[7\]](#) [\[8\]](#) [\[9\]](#)

3. Flujos de trabajo BIM y gemelos digitales habilitados por IA

El BIM y los gemelos digitales proporcionan un entorno digital estructurado en el que la IA puede operar de forma significativa. Aunque la IA puede analizar datos de forma independiente, sus resultados ganan valor cuando se vinculan al contexto espacial, funcional y semántico. [\[3\]](#) [\[4\]](#)

En los flujos de trabajo habilitados para BIM, la IA puede automatizar comprobaciones, identificar inconsistencias y respaldar decisiones de diseño basadas en el rendimiento. Los gemelos digitales amplían estas capacidades a la fase operativa mediante la integración de datos en tiempo real, lo que permite la supervisión y el aprendizaje continuos a lo largo del tiempo. [\[3\]](#) [\[4\]](#)

Un factor clave para el éxito es la calidad de los datos y la coherencia de los modelos. La IA amplifica tanto los puntos fuertes como los débiles de las prácticas digitales existentes (Figura 4).

La IA mejora el BIM al automatizar las comprobaciones y extraer información de los modelos:

- ▶ La detección automatizada de colisiones utiliza la IA para identificar rápidamente conflictos entre elementos de construcción en los modelos BIM, reduciendo los errores de diseño antes de que comience la construcción.
- ▶ La comprobación de cumplimiento basada en reglas aplica la IA para verificar automáticamente que los diseños cumplen las normas reglamentarias y los requisitos del proyecto.
- ▶ La optimización del diseño aprovecha los algoritmos de IA para explorar múltiples alternativas de diseño y recomendar distribuciones que mejoren el rendimiento, la eficiencia o la sostenibilidad.
- ▶ En conjunto, estos ejemplos muestran cómo la IA mejora el BIM al agilizar las comprobaciones, garantizar el cumplimiento normativo y mejorar los resultados del diseño.

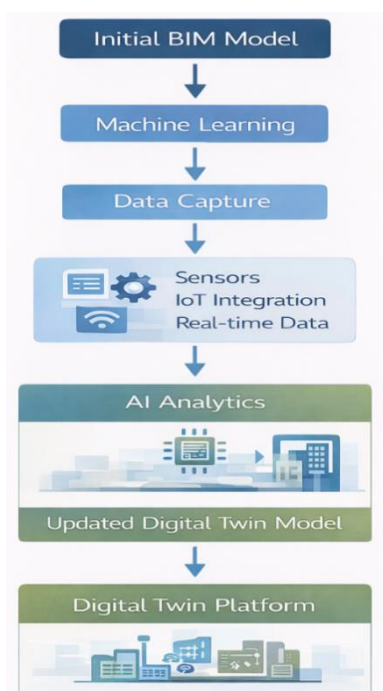


Figura 4: Flujo de trabajo BIM con gemelo digital habilitado por IA.

Uso del BIM	Tradicional	Mejorado con IA
Detección de colisiones	Revisión manual	Automatizada predictiva +
Análisis energético	Simulación estática	Previsión y optimización
Estimación de costes	Medias históricas	Predicción basada en ML

Figura 5: Funciones de IA en los distintos usos del BIM.

Ejercicio

Identifica posibles fuentes de datos para un gemelo digital en tu organización.

Explicación del ejercicio

Un gemelo digital requiere datos tanto estructurados como en tiempo real para representar el activo físico y su rendimiento a lo largo del tiempo. En nuestra organización, las posibles fuentes de datos para un gemelo digital podrían incluir:

- ▶ BIM y documentación de diseño.
- ▶ Datos de sensores y de monitorización del IoT.
- ▶ Registros de gestión y mantenimiento de instalaciones.
- ▶ Datos operativos y de uso.
- ▶ Datos ambientales y externos.
- ▶ Datos visuales y basados en inspecciones

4. Mantenimiento predictivo y análisis de riesgos

El mantenimiento predictivo representa una de las aplicaciones de IA más maduras y valiosas en el entorno construido. En lugar de reaccionar ante las averías o seguir calendarios rígidos, la IA analiza los patrones en los datos operativos para predecir cuándo es realmente necesaria una intervención. [7] [8]

Este enfoque mejora la seguridad, reduce el tiempo de inactividad y optimiza los presupuestos de mantenimiento, lo cual es especialmente importante para los edificios públicos y las infraestructuras con recursos limitados.

El análisis de riesgos se beneficia de manera similar, ya que la IA puede integrar múltiples fuentes de datos para detectar riesgos emergentes y facilitar la adopción de medidas preventivas (Figura 6). El mantenimiento tradicional reacciona ante las averías. La IA permite la predicción. [7] [8]

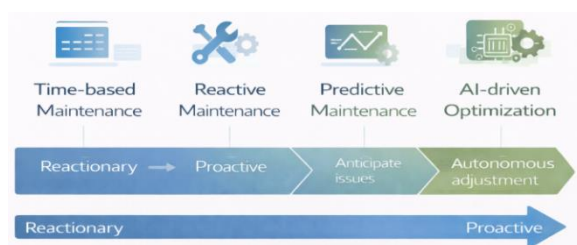


Figura 6: Evolución del mantenimiento.

Aspecto	Reactivo	Preventivo	Predictivo
Tiempo de inactividad	Alto	Medio	Bajo
Rentabilidad	Baja	Media	Alta
Uso de datos	Mínimo	Moderado	Alto

Figura 7: Comparación de estrategias de mantenimiento.

El análisis de riesgos para los soportes de IA es el siguiente:

- ▶ El modelado de escenarios utiliza la IA para simular diferentes situaciones futuras, lo que ayuda a las organizaciones a anticipar posibles riesgos y resultados antes de que se produzcan.
- ▶ La evaluación de riesgos basada en la probabilidad aplica métodos estadísticos para estimar la probabilidad de que se produzcan riesgos específicos, lo que permite tomar decisiones basadas en datos sobre las estrategias de mitigación.

En conjunto, estos enfoques refuerzan el análisis de riesgos al combinar la previsión con probabilidades cuantificables.

Ejercicio

Enumera tres tipos de datos necesarios para implementar el mantenimiento predictivo en un edificio público.

Explicación del ejercicio

Datos de sensores (temperatura, vibración, consumo energético), registros históricos de mantenimiento y horarios de funcionamiento u ocupación.

- ▶ Datos de sensores: lecturas continuas de los sistemas del edificio, como temperatura, vibración, humedad y consumo de energía. Estos proporcionan información en tiempo real sobre el rendimiento de los equipos y detectan anomalías de forma temprana.
- ▶ Registros históricos de mantenimiento: registros de servicio anteriores, historiales de reparaciones y calendarios de sustitución. Estos datos ayudan a identificar problemas recurrentes y respaldan los algoritmos predictivos al mostrar patrones de fallo.
- ▶ Horarios de funcionamiento y ocupación: Información sobre cómo y cuándo se utilizan los espacios, incluyendo las horas de máxima ocupación y las horas de funcionamiento de los equipos. Estos datos contextuales garantizan que las predicciones de mantenimiento se ajusten al uso real del edificio.

5. Visión artificial en la construcción y las infraestructuras

La visión artificial aplica técnicas de IA a imágenes y vídeos recopilados por cámaras, drones o escáneres. En proyectos de construcción e infraestructura, esto permite la supervisión automatizada del progreso, la calidad y la seguridad. [\[8\]](#) [\[9\]](#)

En comparación con las inspecciones manuales, la visión artificial puede proporcionar observaciones más frecuentes, objetivas y escalables. Sin embargo, la validación humana sigue siendo esencial, especialmente para las decisiones críticas en materia de seguridad. [\[8\]](#) [\[9\]](#)

¿Qué es la visión artificial? [\[8\]](#) [\[9\]](#)

La visión artificial permite a las máquinas interpretar imágenes y vídeos. [\[8\]](#) [\[9\]](#)

Las principales aplicaciones son:

- ▶ La supervisión de la seguridad utiliza la visión artificial para detectar automáticamente peligros o comportamientos inseguros en las obras de construcción, mejorando la protección de las personas trabajadoras.
- ▶ El seguimiento del progreso mediante drones aplica la visión artificial para analizar imágenes y vídeos aéreos, proporcionando actualizaciones en tiempo real sobre el avance del proyecto.
- ▶ La detección de defectos aprovecha la visión artificial para identificar fallos en los materiales o en los trabajos de construcción, garantizando el control de calidad y reduciendo las costosas repeticiones de trabajo.

En conjunto, estas aplicaciones muestran cómo la visión artificial transforma los datos visuales en información útil para proyectos de construcción más seguros, eficientes y de mayor calidad.



Figura 8: Flujo de trabajo del análisis de imágenes de drones.

Las ventajas son las siguientes:

- ▶ Mayor seguridad: la IA puede detectar condiciones y comportamientos peligrosos en la obra en tiempo real, lo que ayuda a prevenir accidentes y reducir el riesgo.
- ▶ Informes objetivos sobre el avance de las obras: la IA proporciona un seguimiento coherente y basado en datos del avance de la construcción, lo que reduce la dependencia de la evaluación humana subjetiva.
- ▶ Control de calidad: la IA permite la detección automatizada de defectos e incumplimientos, lo que mejora la calidad de la construcción y reduce la necesidad de volver a realizar trabajos.

Ejercicio 1

Analice las consideraciones éticas de la monitorización por vídeo.

Explicación del ejercicio

La monitorización por vídeo mediante visión artificial basada en IA puede mejorar significativamente la seguridad, el control de calidad y el seguimiento del progreso en proyectos de construcción e infraestructura. Sin embargo, también plantea importantes cuestiones éticas y legales que deben abordarse antes de su implementación.

- ▶ Privacidad y protección de datos personales.
- ▶ Limitación de la finalidad y riesgo de uso indebido.
- ▶ Transparencia y confianza de las personas trabajadoras.
- ▶ Riesgos de sesgo y discriminación.
- ▶ Responsabilidad y supervisión humana.
- ▶ Seguridad y almacenamiento de datos.

Ejercicio 2

Identifica una actividad de construcción o infraestructura en la que la visión artificial podría mejorar los resultados.

Explicación del ejercicio

Algunos ejemplos son la supervisión del cumplimiento de las normas de EPI, la detección de defectos o grietas en las superficies, el seguimiento del avance de la construcción o la evaluación de las condiciones de seguridad de la obra.

6. Conceptos de realidad aumentada y realidad virtual

La realidad aumentada (RA) y la realidad virtual (RV) mejoran la comprensión al presentar información digital de forma inmersiva o contextual. La RA superpone contenido digital sobre el mundo real, mientras que la RV crea entornos simulados totalmente inmersivos. [\[10\]](#) [\[11\]](#)

Estas tecnologías mejoran la comunicación, reducen los malentendidos y favorecen el aprendizaje experiencial, lo cual resulta especialmente valioso en entornos complejos o peligrosos.

La realidad virtual (RV) se refiere a una tecnología digital que crea un entorno totalmente inmersivo y generado por ordenador en el que los usuarios y usuarias quedan completamente separados del mundo físico real y se sitúan en un espacio virtual simulado a través de dispositivos como cascos de RV, mandos y sensores de movimiento.

En la RV, el usuario o usuaria experimenta una sensación de presencia, lo que significa que se siente como si estuviera físicamente «dentro» del entorno virtual. A diferencia de la realidad aumentada (RA), que superpone información digital sobre el mundo real, la RV sustituye por completo el mundo real por un entorno simulado. Esto les permite explorar, interactuar y realizar tareas en un entorno controlado y seguro.

Los entornos de RV pueden representar interiores de edificios realistas, obras de construcción, sistemas de infraestructura o escenarios peligrosos. La tecnología facilita la formación interactiva, la revisión de diseños y la simulación al permitir a los usuarios y usuarias moverse por espacios virtuales, examinar objetos en 3D y practicar la toma de decisiones sin riesgos en el mundo real.

En el sector de la construcción, la RV se utiliza ampliamente para la visualización de diseños, la participación de las partes interesadas, la planificación de la construcción y la formación en materia de seguridad, ya que ayuda a comprender información espacial compleja y las condiciones del proyecto antes de que comience la construcción física o la puesta en marcha.

La realidad aumentada (RA) se refiere a una tecnología digital que mejora el entorno físico real superponiendo información generada por ordenador, como modelos 3D, texto, gráficos, símbolos o datos de sensores, directamente sobre la visión que tiene la persona usuaria del mundo real a través de dispositivos como teléfonos inteligentes, tabletas, gafas inteligentes o cascos de RA.

A diferencia de la realidad virtual (RV), que sustituye por completo el entorno físico, la RA mantiene el escenario del mundo real y añade una capa digital adicional de información. Esto significa que las personas siguen siendo conscientes de su entorno mientras reciben simultáneamente orientación digital y apoyo a la visualización. Por lo tanto, la RA se considera una tecnología clave dentro del continuo de la «realidad mixta», situada entre el mundo real y los entornos totalmente virtuales (Figura 9).

En el contexto del entorno construido, la RA permite a las y los profesionales visualizar información BIM o de gemelos digitales directamente in situ. Por ejemplo, la RA puede mostrar servicios ocultos del edificio, como tuberías, cables o conductos de ventilación detrás de paredes y techos, lo que ayuda a las y los profesionales de la ingeniería y al personal técnico a localizar activos y realizar el mantenimiento de forma más eficiente. La RA también puede ayudar a los equipos de construcción superponiendo instrucciones de instalación o marcadores de alineación estructural sobre el emplazamiento físico, lo que reduce los errores y mejora la coordinación.

En general, la RA mejora la toma de decisiones al proporcionar información contextual en tiempo real y aumentar la comprensión de sistemas espaciales complejos, lo que la hace especialmente valiosa para la gestión de la construcción, la inspección, las operaciones de las instalaciones y los flujos de trabajo de mantenimiento.

		
Entorno	Combina elementos digitales con el mundo real	Un mundo digital totalmente inmersivo
Dispositivo	Gafas inteligentes	Casco de realidad virtual
Uso	Mejora la experiencia del mundo real	Inmersión virtual total

Figura 9: Comparación entre RA y RV.

Activo físico	+	Superposición digital	=	Mejor comprensión
---------------	---	-----------------------	---	-------------------

Figura 10: Superposición de información de RA.

Gráfico A: Visualización de RA: qué servicios de edificios se pueden mostrar

Tipo de servicio del edificio	Ejemplos	Valor/beneficio de la RA
Sistemas de climatización	Conductos, rejillas de ventilación, unidades de tratamiento de aire	Ayuda a localizar vías de ventilación ocultas
Fontanería	Tuberías de agua, desagües, válvulas	Reduce el tiempo necesario para la detección y reparación de fugas
Sistemas eléctricos	Bandejas de cables, cableado, cuadros eléctricos	Mejora la seguridad y reduce los errores de instalación
Protección contra incendios	Rociadores, alarmas contra incendios, detectores de humo	Facilita las inspecciones y los controles de cumplimiento
Elementos estructurales	Vigas, pilares, losas	Facilita la planificación segura de perforaciones y reformas
Salas de equipos	Calderas, bombas, enfriadoras	Ayuda al personal técnico a localizar los componentes más rápidamente

Cuadro B: Flujo de trabajo de demostración de RA (paso a paso)

Paso	Acción en la demostración	Salida / Resultado
1	Seleccionar una habitación o un pasillo	Se define el entorno real
2	Cargar modelo BIM/MEP	Los servicios de construcción digitales están disponibles
3	Activar el visor de RA	El sistema de RA inicia el seguimiento espacial
4	Alinea el modelo con la realidad (marcador QR o puntos de referencia)	El modelo digital se ajusta a la ubicación física
5	Superposición de servicios (conductos, tuberías, cables)	Los sistemas ocultos se visualizan
6	Interactúa con los objetos (haz clic para ver los datos)	Se muestran los metadatos (ID, tamaño, material)
7	Debatir casos de uso prácticos	Refuerzo de los resultados del aprendizaje

Gráfico C: Comparación entre el mantenimiento tradicional y el basado en RA

Actividad de mantenimiento	Enfoque tradicional	Enfoque asistido por RA
Localización de tuberías/cables	Planos manuales + ensayo y error	Superposición instantánea de ubicaciones de servicios
Planificación de la inspección	Visitas al emplazamiento + acceso físico	Guía de inspección visual mediante RA
Intervenciones de reparación	Posible demolición innecesaria	Menor daño y reparación más rápida
Formación de personal técnico	Explicaciones en el aula + manuales	Aprendizaje interactivo en un entorno real
Gestión de la seguridad	Comprobaciones visuales y señalización	Advertencias de RA y visualización de zonas de peligro
Actualizaciones de la documentación	Informes manuales	Actualizaciones digitales vinculadas al modelo BIM/DT

Ejercicio

Decida si la RA o la RV es más adecuada para la formación en seguridad y explique su elección.

Explicación del ejercicio

La RV suele ser más adecuada para la formación en seguridad porque permite simulaciones inmersivas de situaciones peligrosas sin riesgos en el mundo real.

La realidad virtual (VR) suele ser más adecuada para la formación en seguridad que la realidad aumentada (AR).

7. Aplicaciones de RA y RV a lo largo del ciclo de vida de los activos

Las aplicaciones de RA y RV difieren entre las fases de diseño, construcción y operaciones. Durante el diseño, la RV favorece la participación de las partes interesadas y la validación del diseño. En la construcción, la RA puede guiar la instalación y reducir los errores. En las operaciones, tanto la RA como la RV facilitan la formación, el mantenimiento y las pruebas de escenarios.

La adopción debe ajustarse a las necesidades y la madurez de la organización, más que a la mera disponibilidad de la tecnología. [\[3\]](#) [\[12\]](#)

Fase de diseño

- Revisiones de diseño inmersivas: la RV permite a los equipos de proyecto explorar y evaluar el diseño del edificio en un entorno 3D realista, lo que mejora la comprensión espacial y la detección temprana de problemas de diseño.
- Participación de las partes interesadas: la RV ayuda a las partes interesadas sin conocimientos técnicos a comprender el diseño propuesto mediante recorridos virtuales, lo que favorece una comunicación más clara y agiliza las decisiones de aprobación.
-

Construcción y operaciones

- Orientación para la instalación in situ: la RA superpone instrucciones basadas en BIM sobre el emplazamiento físico para ayudar a las personas trabajadoras a instalar los componentes con precisión y reducir los errores.
- Simulaciones de mantenimiento: la RV permite a los técnicos y técnicas practicar los procedimientos de mantenimiento de forma virtual, lo que mejora la preparación y reduce los riesgos antes de trabajar con equipos reales.
- Formación en seguridad: la RV ofrece escenarios de peligro inmersivos en los que el personal puede practicar de forma segura el reconocimiento de riesgos y la respuesta a emergencias sin exposición al mundo real.



Figura 11: Escenario de mantenimiento asistido por RA.

Ejercicio 1

Identifica un caso de uso de RA/RV relevante para tu función.

Explicación del ejercicio

Un caso de uso de RA/RV muy relevante para mi función es la realidad virtual (RV) para la revisión del diseño por parte de las partes interesadas y la comunicación del proyecto.

Ejercicio 2

Identifica una aplicación de RA o RV relevante para la fase actual de tu proyecto.

Explicación del ejercicio

RA para la orientación en la instalación in situ, RV para las revisiones de diseño con las partes interesadas o simulaciones de RV para la formación de los operadores y operadoras.

Una aplicación de RA/RV relevante para la fase actual de mi proyecto es la Realidad Aumentada (RA) para la orientación en la instalación in situ durante la construcción.

8. IA para el aprendizaje y el desarrollo de competencias

La IA también apoya el aprendizaje organizacional al permitir itinerarios de formación personalizados y adaptativos. Las plataformas de aprendizaje pueden analizar el comportamiento de las personas usuarias, adaptar la dificultad del contenido y recomendar formación específica. En un panorama digital en rápida evolución, el aprendizaje continuo es esencial para mantener la competencia profesional y la resiliencia organizacional.

La IA respalda las plataformas de aprendizaje adaptativo mediante:

- ▶ Evaluando el progreso del alumnado: la IA analiza continuamente el rendimiento y la implicación del alumno para identificar sus puntos fuertes, sus puntos débiles y sus lagunas de aprendizaje.
- ▶ Recomendando contenidos a medida: la IA sugiere materiales de aprendizaje y ejercicios personalizados basados en las necesidades, el ritmo y el progreso del alumnado.

Las ventajas para las organizaciones son:

- ▶ Mejora continua de las competencias: la IA permite a la plantilla desarrollar regularmente nuevas competencias a través de un aprendizaje personalizado y continuo, alineado con las necesidades cambiantes de la organización.
- ▶ Inversiones en formación específicas: la IA ayuda a las organizaciones a centrar los recursos de formación en las carencias de habilidades más críticas, mejorando la eficiencia y el impacto.
- ▶ Apoyo a los formadores: la IA ayuda a los formadores realizando un seguimiento del rendimiento del alumnado, automatizando la retroalimentación y ayudando a diseñar itinerarios de formación más eficaces.

Traditional	AI-Driven
Datos Conjuntos de datos estáticos Proceso Reglas predefinidas Afecto Ritmo fijo Plan de estudios general	Proceso Datos en tiempo real Adaptabilidad Aprendizaje automático Uso Centrado en el alumnado Retroalimentación adaptativa

Figura 12: Modelos de aprendizaje tradicionales frente a modelos basados en IA.

Reflexión: ¿Cómo podría la IA contribuir a la formación en tu organización?

Ejercicio

Identifica una carencia de competencias en tu organización que podría subsanarse mediante el aprendizaje asistido por IA.

Explicación del ejercicio

Alfabetización digital relacionada con el BIM, habilidades de interpretación de datos o comprensión de las plataformas de gestión de activos.

Una carencia de competencias significativa en nuestra organización es la capacidad del personal para interpretar y utilizar el BIM y los datos digitales en la toma de decisiones.

9. Consideraciones éticas, legales y organizativas

La adopción responsable de la IA requiere prestar atención a la ética, la protección de datos, la transparencia y la gestión del cambio organizativo. Los sistemas de IA pueden introducir sesgos, oscurecer la lógica de las decisiones o suscitar preocupaciones sobre la privacidad si no se regulan adecuadamente. [\[1\]](#) [\[3\]](#) [\[5\]](#) [\[6\]](#) [\[13\]](#)

Para garantizar la confianza y la aceptación, son esenciales unos marcos de gobernanza claros, unas normas bien definidas y la participación de las partes interesadas. [\[5\]](#) [\[6\]](#) [\[13\]](#)

Cuestiones clave

- ▶ Privacidad y propiedad de los datos: Las organizaciones deben garantizar que los datos personales y operativos utilizados por los sistemas de IA se recopilen, almacenen y compartan de forma legal, segura y con una responsabilidad clara en cuanto a la propiedad y los derechos de acceso.
- ▶ Transparencia de los algoritmos: Los procesos de toma de decisiones de la IA deben ser comprensibles y explicables, de modo que los usuarios y usuarias puedan confiar en los resultados y verificar cómo se llegó a las conclusiones.
- ▶ Sesgo y rendición de cuentas: Los sistemas de IA deben ser supervisados para evitar resultados injustos o discriminatorios, y debe asignarse una rendición de cuentas clara para que la responsabilidad recaiga en las personas responsables de la toma de decisiones.

Preparación de la organización

- ▶ Estructuras de gobernanza: Las organizaciones deben establecer políticas, funciones y procedimientos de cumplimiento legal claros para garantizar un uso responsable de la IA, incluyendo marcos de protección de datos y de rendición de cuentas.
- ▶ Competencias y cultura: El personal debe contar con las competencias digitales necesarias y una cultura organizativa abierta que apoye la innovación y la confianza en la toma de decisiones respaldada por la IA.
- ▶ Gestión del cambio: La adopción exitosa de la IA requiere una planificación estructurada para gestionar la resistencia, comunicar los beneficios e integrar las nuevas tecnologías en los flujos de trabajo cotidianos.

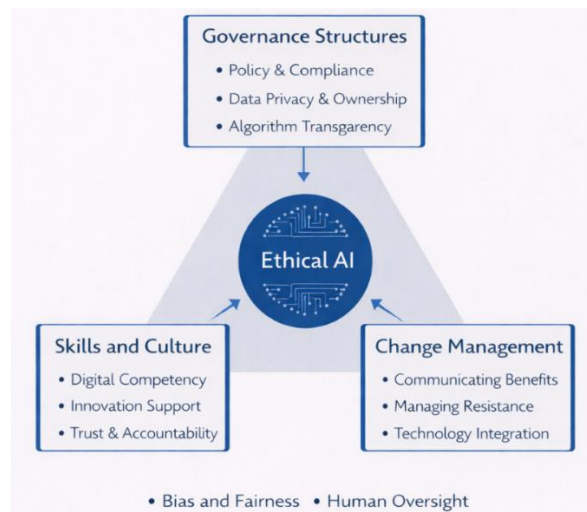


Figura 13: Marco de IA ética para el entorno construido

Debate: ¿Qué riesgos se derivan de una gobernanza deficiente de la IA?

Ejercicio

Identifique un riesgo ético, legal u organizativo relacionado con la adopción de la IA.

Explicación del ejercicio

Riesgos para la privacidad de los datos, falta de transparencia en las decisiones automatizadas, dependencia excesiva de la tecnología o resistencia por parte del personal.

Uno de los principales riesgos relacionados con la adopción de la IA es el uso indebido o el manejo inadecuado de los datos personales y operativos, lo que conduce a violaciones de la privacidad y a la pérdida de confianza.

10. Estrategias de adopción y tendencias futuras

La adopción exitosa de la IA y los gemelos digitales sigue un enfoque por fases, que comienza con proyectos piloto, avanza hacia la integración y, finalmente, se extiende a toda la organización. Las expectativas poco realistas y las soluciones excesivamente complejas suelen conducir al fracaso. [\[1\]](#) [\[3\]](#) [\[4\]](#)

Entre las tendencias futuras se incluyen una mayor integración de la IA en las herramientas de *software* estándar, una mayor automatización de las tareas rutinarias y un mayor énfasis en los marcos éticos y normativos. [\[5\]](#) [\[6\]](#) [\[13\]](#) [\[14\]](#) [\[15\]](#) [\[16\]](#)

Las estrategias de adopción son:

- ▶ Comenzar con proyectos piloto: Iniciar la adopción de la IA a pequeña escala para comprobar la viabilidad, medir los beneficios y reducir los riesgos antes de una implementación más amplia.
- ▶ Centrarse en la calidad de los datos: Asegurarse de que los datos recopilados sean precisos, coherentes y fiables, ya que el rendimiento de la IA depende en gran medida de conjuntos de datos de alta calidad.
- ▶ Crear equipos interdisciplinarios: Combinar la experiencia de ingeniería, TI, ciencia de datos y operaciones para garantizar que las soluciones de IA satisfagan las necesidades técnicas y organizativas reales [\[17\]](#).

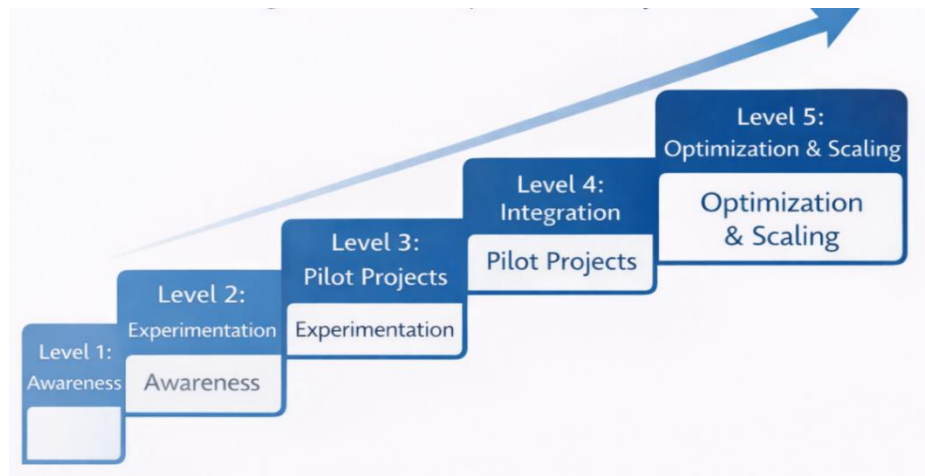


Figura 14: Modelo de madurez de la adopción de la IA.



Figura 15: Evolución tecnológica prevista.

Ejercicio 1

Desarrolle una hoja de ruta sencilla para la adopción de la IA en su organización.

Explicación del ejercicio

Ejemplo de caso de uso: Mantenimiento predictivo de los sistemas de climatización en edificios municipales.

Proyecto piloto: un edificio público con contadores de energía y sensores de temperatura.

Ampliación: Extender a colegios y hospitales tras alcanzar los KPI deseados.

Ejercicio 2

Defina una acción concreta que su organización podría llevar a cabo durante la fase piloto de la adopción de la IA.

Explicación del ejercicio

Implementar un gemelo digital a pequeña escala centrado en la monitorización energética de un único edificio público y utilizar los resultados para tomar decisiones sobre una implantación más amplia. [\[3\]](#) [\[4\]](#)

Una acción concreta que nuestra organización podría llevar a cabo durante la fase piloto de la adopción de la IA es desarrollar un proyecto piloto de gemelo digital a pequeña escala para la monitorización energética y la detección de anomalías en un edificio público.

Ejercicios

Elija la mejor respuesta para cada pregunta. La clave de respuestas se encuentra al final de esta sección.

1. ¿Cuál es la función principal de la inteligencia artificial (IA) en el entorno construido?

- A) Sustituir a los y las profesionales de la ingeniería y la arquitectura
- B) Analizar grandes conjuntos de datos y apoyar la toma de decisiones
- C) Eliminar la necesidad de modelos BIM
- D) Automatizar todos los procesos de construcción

2. ¿Qué técnica de IA se utiliza habitualmente para predecir fallos en los equipos?

- A) Análisis predictivo
- B) Procesamiento de textos
- C) Formato de hojas de cálculo
- D) Automatización del correo electrónico

3. ¿Qué permite hacer el procesamiento del lenguaje natural (PLN) a los sistemas de IA?

- A) Interpretar y analizar el lenguaje humano en textos o en el habla
- B) Construir infraestructura física
- C) Generar modelos geométricos en 3D
- D) Sustituir los sistemas de bases de datos

4. ¿Cuál es el objetivo principal de la visión artificial en los proyectos de construcción?

- A) Diseñar estructuras de edificios
- B) Analizar imágenes y vídeos para supervisar la seguridad, el progreso o los defectos
- C) Redactar informes técnicos
- D) Sustituir a las y los responsables de seguridad

5. ¿Qué tecnología crea un entorno digital totalmente inmersivo para las personas usuarias?

- A) Realidad aumentada (RA)
- B) Realidad virtual (RV)
- C) Diseño asistido por ordenador (CAD)
- D) Modelado con hojas de cálculo

6. ¿Cuál es la principal ventaja de la realidad aumentada (RA) en la construcción?

- A) Sustituye a las actividades físicas de construcción
- B) Superpone información digital sobre el entorno del mundo real
- C) Almacena la documentación del proyecto
- D) Elimina la necesidad de modelos BIM

7. ¿Qué es el mantenimiento predictivo?

- A) El mantenimiento realizado tras un fallo del equipo
- B) Mantenimiento programado de forma aleatoria
- C) Mantenimiento basado en análisis de IA que predicen posibles fallos
- D) Mantenimiento realizado solo una vez al año

8. ¿Por qué es importante la calidad de los datos para los sistemas de IA?

- A) Los sistemas de IA funcionan independientemente de los datos

- B) El rendimiento de la IA depende de datos precisos y fiables
- C) La calidad de los datos solo importa durante el diseño
- D) La calidad de los datos solo afecta a los informes financieros

9. ¿Cuál de las siguientes cuestiones es una preocupación ética clave en la implementación de la IA?

- A) El aumento del consumo eléctrico
- B) La privacidad de los datos y el sesgo de los algoritmos
- C) La falta de materiales de construcción
- D) La reducción de la documentación del proyecto

10. ¿Cuál es el enfoque recomendado para introducir tecnologías de IA en las organizaciones?

- A) Implementación inmediata a gran escala
- B) Evitar las pruebas piloto
- C) Empezar con pequeños proyectos piloto y ampliar gradualmente
- D) Sustituir todos los sistemas existentes de inmediato

Respuestas

1) B 2) A 3) A 4) B 5) B 6) B 7) C 8) B 9) B 10) C

Referencias

1. [\(NIST, 2023\)](#)
2. [\(ISO/IEC, 2023\)](#)
3. [Grieves, M. y Vickers, J. \(2017\). Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems.](#)
4. [Kritzinger, W. et al. \(2018\). El gemelo digital en la fabricación: una revisión bibliográfica categórica. IFAC-PapersOnLine.](#)
5. [Unión Europea \(2016\). Reglamento \(UE\) 2016/679 \(RGPD\).](#)
6. [Comisión Europea \(2020\). Una estrategia europea para los datos.](#)
7. [ISO \(2014\). ISO 55000: Gestión de activos — Visión general, principios y terminología.](#)
8. [McKinsey Global Institute \(2017\). Reinventar la construcción: un camino hacia una mayor productividad.](#)
9. [Foro Económico Mundial, 2018](#)
10. [Milgram, P. y Kishino, F. \(1994\). Una taxonomía de las pantallas de realidad mixta.](#)
11. [Whyte, J. \(2013\). Aplicaciones industriales de la realidad virtual en la arquitectura y la construcción.](#)
12. [NIST \(2023\). Marco de gestión de riesgos de la IA \(AI RMF 1.0\).](#)
13. [Unión Europea \(2024\). Ley de Inteligencia Artificial \(AI Act\).](#)
14. [ISO \(2018\). ISO 19650: Organización y digitalización de la información sobre edificios y obras de ingeniería civil.](#)
15. [ISO \(2021\). ISO 23247: Sistemas de automatización e integración — Marco de gemelos digitales para la fabricación.](#)
16. [ISO/IEC \(2023\). ISO/IEC 23894: Inteligencia artificial — Orientación sobre la gestión de riesgos.](#)
17. [Foro Económico Mundial \(2018\). Configurando el futuro de la construcción: un avance en mentalidad y tecnología.](#)

ET4 Digital

ET4D



CURSO 4



Eliminar las **Barreras Culturales** que frenan la **Digitalización** en las PYMES



Cofinanciado por
la Unión Europea

Financiado por la Unión Europea. Las opiniones y puntos de vista expresados solo comprometen a su(s) autor(es) y no reflejan necesariamente los de la Unión Europea o los de la Agencia Ejecutiva Europea de Educación y Cultura (EACEA). Ni la Unión Europea ni la EACEA pueden ser considerados responsables de ellos.

Curso 4:

Eliminar las Barreras Culturales que frenan la Digitalización en las PYMES

Tema 1: Comprender la resistencia cultural a la digitalización

Tema 2: Incorporación de la cultura digital en las PYMES del sector de la construcción

Índice

Tema 1: Comprender la resistencia cultural a la digitalización	4
Objetivos y resultados de aprendizaje y glosario	4
Objetivos de aprendizaje	5
Resultados de aprendizaje	5
Glosario	5
Introducción	7
1. Resistencia cultural a la digitalización en las PYMES	8
1.2 Por qué la cultura importa más que la tecnología	8
2. Identificación de las fuentes de resistencia en las PYMES	8
2.1 Resistencia basada en el miedo	9
2.2 Hábitos y zonas de confort	9
2.3 Falta de confianza	10
2.4 Resistencia impulsada por el liderazgo	11
3. Evaluación de la madurez y la preparación digitales	11
3.1 ¿Qué es la madurez digital?	11
3.2 Dimensiones fundamentales de la preparación digital	12
3.3 Preguntas sencillas sobre la preparación digital	13
3.4 Niveles de madurez digital y metodologías de evaluación	13
4. Herramientas para la autoevaluación de la cultura digital	14
4.1 Lista de verificación para la autoevaluación de la cultura digital	14
4.2 Mapeo de actitudes digitales	15
5. Estrategias de comunicación para reducir la resistencia	15
5.1 Principios de una comunicación eficaz sobre el cambio	15
5.2 Enmarcar la digitalización de forma positiva	16
5.3 Involucrar a los empleados desde el principio	17
6. Estrategias prácticas para superar la resistencia	17
6.1 Empezar poco a poco y ampliar gradualmente	17
6.2 La formación como empoderamiento	18
6.3 Reconocer y recompensar el compromiso	18
Caso práctico 1: AICE Consulting – Digitalización en servicios de ingeniería civil y diseño (Italia)	20
Perfil de la empresa	20
Iniciativa digital	20
Retos culturales y organizativos	20
Beneficios experimentados de la digitalización	20
Lecciones clave y buenas prácticas	21
Caso práctico 2: Pich Arquitectos – Innovación digital en la práctica arquitectónica (España)	21
Iniciativa digital	21
Retos culturales y sectoriales	21
Beneficios experimentados de la digitalización	22

Lecciones clave y buenas prácticas	22
Ejercicios	23
Referencias.....	25
Tema 2: Incorporación de la cultura digital en las pymes del sector de la construcción	26
Objetivos y resultados de aprendizaje y glosario	26
Objetivos de aprendizaje	26
Resultados de aprendizaje	26
Glosario	27
Introducción	28
1. ¿Cómo entender la cultura digital en las pymes de la construcción?	29
1.1 Definición de la cultura digital	29
1.2 Por qué la cultura digital es importante para las pymes del sector de la construcción	29
1.3 Retos para la creación de una cultura digital en las pymes de la construcción	30
2. Integración de la competencia digital en los planes de formación de la empresa	31
2.1 Evaluación de las competencias digitales actuales	31
2.2 Principios clave para el diseño de programas de formación digital eficaces	32
2.3 Integración del aprendizaje digital en el flujo de trabajo	32
3. Creación de una cultura de aprendizaje: aprendizaje entre pares y tutoría	33
3.1 El poder del aprendizaje entre pares en las pymes de la construcción	33
3.2 Estructuración de iniciativas de aprendizaje entre pares	33
3.3 Programas formales de mentoría	33
4. Reconocer y recompensar la innovación	35
4.1 Por qué es importante el reconocimiento	35
4.2 Diseño de sistemas de reconocimiento para la innovación digital	35
4.3 Crear seguridad psicológica para la innovación	35
5. Desarrollo de una estrategia digital para PYMES	36
5.1 Por qué las pymes necesitan una estrategia digital	36
5.2 Primeros pasos	36
5.3 Componentes de una estrategia digital para pymes	38
Caso práctico.....	39
Creación de una cultura digital a través de la innovación y el desarrollo de los empleados	39
Ejercicios	41
Referencias.....	43

Tema 1: Comprender la resistencia cultural a la digitalización

Objetivos y resultados de aprendizaje y glosario

Objetivos de aprendizaje

- ▶ Identificar las principales barreras culturales y de comportamiento que frenan la digitalización en las pymes, incluyendo el miedo, los hábitos, la falta de confianza y la resistencia del liderazgo.
- ▶ Explicar por qué la cultura y la mentalidad organizativas son factores críticos para el éxito de la transformación digital, a menudo más importantes que las limitaciones tecnológicas.
- ▶ Evaluar la madurez digital y el grado de preparación de una pyme utilizando herramientas sencillas de reflexión y autoevaluación.
- ▶ Aplicar estrategias de comunicación que reduzcan la resistencia al cambio digital y fomenten el compromiso del equipo.
- ▶ Implementar estrategias prácticas, como proyectos piloto, escalado gradual y formación, para superar la resistencia a la digitalización.
- ▶ Reconocer el valor de los enfoques orientados al aprendizaje, incluyendo el aprendizaje entre pares y el reconocimiento informal, para apoyar la adopción digital.
- ▶ Analizar casos prácticos reales de pymes del sector de la construcción (AICE Consulting y Pich Arquitectos) para extraer lecciones transferibles sobre la preparación cultural y el cambio digital.

Resultados de aprendizaje

- ▶ Identificar las barreras culturales y de comportamiento comunes que frenan la transformación digital en las pymes.
- ▶ Reconocer el impacto de la mentalidad, el estilo de liderazgo y la comunicación en la adopción digital.
- ▶ Explicar el papel de la confianza, la apertura y la colaboración en un cambio digital exitoso.
- ▶ Aplicar estrategias prácticas para reducir el miedo, la resistencia y el escepticismo hacia las nuevas tecnologías.
- ▶ Reflexionar sobre el grado de preparación y las actitudes de su propia organización hacia la innovación digital.

Glosario

Pequeñas y medianas empresas (pymes)	Organizaciones con menos de 250 personas empleadas, que suelen caracterizarse por sus recursos limitados, sus estrechas relaciones de trabajo y sus procesos informales.
Transformación digital	Proceso mediante el cual las pymes integran herramientas digitales en sus actividades, flujos de trabajo y cultura para mejorar la eficiencia, la calidad y la adaptabilidad.
Resistencia cultural	Actitudes, temores y hábitos dentro de las pymes que ralentizan o impiden la adopción de tecnologías digitales.
Madurez digital	La capacidad de una pyme para utilizar herramientas digitales de manera eficaz, respaldada por la cultura, las competencias, el liderazgo y los procesos adecuados.
Preparación digital	El grado en que una pyme está preparada para adoptar soluciones digitales, teniendo en cuenta la mentalidad, las competencias y las prácticas organizativas.
Resistencia basada en el miedo	Resistencia en las pymes provocada por el miedo a la pérdida del empleo, la falta de competencias digitales, un mayor control o el miedo a cometer errores.
Resistencia del liderazgo	Resistencia a la digitalización por parte de las personas propietarias o encargadas de la dirección de las pymes que se muestran reacias al cambio o carecen de confianza en el ámbito digital.
Cultura digital	Valores y comportamientos compartidos en las pymes que fomentan el aprendizaje, la colaboración y la apertura a la innovación digital.
Herramienta de autoevaluación	Un sencillo cuestionario o lista de verificación que utilizan las pymes para reflexionar sobre su cultura digital y su grado de preparación.
Aprendizaje entre pares	Aprendizaje informal en las pymes en el que la plantilla se apoya mutuamente en la adopción de herramientas digitales.
Modelado de información de construcción (BIM)	Método de trabajo digital utilizado en las pymes del sector de la construcción para gestionar la información de los proyectos a lo largo del ciclo de vida del edificio.

Introducción

La transformación digital se ha convertido en una prioridad estratégica para las pequeñas y medianas empresas (pymes) de toda Europa, impulsada por la creciente competencia, las expectativas cambiantes de la clientela y el rápido desarrollo tecnológico. Las herramientas digitales prometen una mayor eficiencia, una mejor comunicación, una mejor toma de decisiones y el acceso a nuevos mercados. Como resultado, la digitalización se suele enmarcar principalmente como un reto tecnológico, centrado en la adopción de *software*, plataformas e infraestructura digital.

Sin embargo, los datos recopilados durante la **fase de investigación de ET4Digital** demuestran claramente que los obstáculos más importantes para la transformación digital en las pymes son **culturales más que tecnológicos**. Aunque existen tecnologías adecuadas ampliamente disponibles y cada vez más asequibles, muchas organizaciones tienen dificultades para integrarlas de manera eficaz en las prácticas de trabajo diarias. El miedo al cambio, los hábitos profundamente arraigados, la falta de confianza en los sistemas digitales y la escasa confianza digital entre las personas empleadas y la dirección suelen ralentizar, distorsionar o bloquear por completo las iniciativas digitales.

En muchas pymes, la resistencia a la digitalización no se expresa abiertamente, sino que se manifiesta a través de un bajo compromiso, la adopción parcial de herramientas, procesos manuales paralelos o la evitación pasiva del cambio. Las personas empleadas pueden temer perder sus puestos de trabajo o su estatus, la dirección puede preocuparse por perder el control o por poner de manifiesto ineficiencias, y las personas propietarias pueden mostrarse reacias a alterar formas de trabajo arraigadas que anteriormente garantizaban la supervivencia del negocio. Estos factores culturales y de comportamiento a menudo no se abordan, lo que conduce a esfuerzos de transformación digital fallidos o con resultados insuficientes.

Este módulo de formación está diseñado para responder directamente a estos retos. Su objetivo principal es ayudar a las personas con responsabilidades de liderazgo, dirección, formación o que trabajan en pymes **a comprender las raíces culturales de la resistencia a la digitalización y a desarrollar estrategias prácticas para superarlas**. En lugar de centrarse exclusivamente en la tecnología, el módulo sitúa a las personas, las actitudes y la cultura organizativa en el centro del cambio digital.

El módulo combina **explicaciones conceptuales, herramientas prácticas, instrumentos de autoevaluación y ejemplos reales de pymes europeas**. Las y los participantes aprenderán a identificar fuentes comunes de resistencia, como el miedo, los hábitos y la falta de confianza; a evaluar la madurez y la preparación digital de su organización; y a aplicar estrategias de comunicación y liderazgo que fomenten la apertura, la colaboración y el aprendizaje. Se presta especial atención al papel de la confianza, la seguridad psicológica y el comportamiento de liderazgo a la hora de fomentar la aceptación de la innovación digital.

Al finalizar el módulo, el alumnado no solo será capaz de reconocer las barreras culturales y de comportamiento que se interponen en la transformación digital, sino que también reflexionarán de forma crítica sobre las actitudes de su propia organización hacia el cambio digital. El módulo fomenta un cambio de mentalidad: pasar de considerar la digitalización como una amenaza disruptiva a entenderla como un proceso de aprendizaje colectivo y una oportunidad para el desarrollo organizativo sostenible.

En última instancia, este módulo ayuda a las pymes a desarrollar un **enfoque de la transformación digital centrado en las personas**, en el que la tecnología está al servicio de las personas, y no al revés, y en el que la preparación cultural se convierte en un factor clave para el éxito digital a largo plazo.

1. Resistencia cultural a la digitalización en las PYMES

1.2 Por qué la cultura importa más que la tecnología

En los últimos años, las tecnologías digitales se han vuelto cada vez más asequibles, fáciles de usar y accesibles para las pequeñas y medianas empresas (pymes) de toda Europa. Las plataformas basadas en la nube, los sistemas de planificación de recursos empresariales (ERP), las herramientas de gestión de relaciones con los clientes (CRM), el *software* colaborativo y las soluciones de comercio electrónico están ahora ampliamente disponibles y, a menudo, diseñadas específicamente para organizaciones más pequeñas. Desde una perspectiva puramente técnica, las barreras para adoptar soluciones digitales han disminuido significativamente.

A pesar de este entorno tecnológico favorable, muchas pymes siguen teniendo dificultades con la transformación digital. Se adquieren herramientas pero no se utilizan plenamente, los sistemas coexisten con procesos manuales y las iniciativas digitales no logran aportar los beneficios esperados. Esta paradoja pone de relieve una idea fundamental confirmada por la fase de investigación de ET4Digital: la transformación digital es ante todo un reto humano y cultural, no tecnológico.

La cultura organizativa desempeña un papel decisivo a la hora de determinar cómo se perciben, aceptan e integran las tecnologías digitales en las prácticas cotidianas. La cultura influye en las actitudes de los empleados hacia el riesgo, el aprendizaje, la colaboración, la autoridad y la innovación. En las pymes, donde las relaciones suelen ser informales y las funciones están estrechamente vinculadas a las personas más que a los procesos, los factores culturales pueden tener un impacto aún mayor que en las organizaciones de mayor tamaño.

Cuando se introduce la digitalización sin abordar la preparación cultural, a menudo se percibe como una amenaza en lugar de como una oportunidad. Los empleados pueden temer que la tecnología sustituya sus puestos de trabajo, ponga de manifiesto su falta de competencias digitales o aumente el control y la supervisión. Los directivos pueden preocuparse por perder autoridad, por que la transparencia revele ineficiencias o por la dependencia de sistemas desconocidos. Estos temores rara vez se expresan abiertamente, pero se manifiestan a través de la evasión, el cumplimiento mínimo o la resistencia pasiva.

Como consecuencia, los proyectos digitales en las pymes suelen dar lugar a sistemas infrautilizados, en los que solo se aprovecha una pequeña parte de las funcionalidades disponibles. Los procesos en papel o informales siguen coexistiendo con las herramientas digitales, creando flujos de trabajo paralelos que aumentan la complejidad en lugar de reducirla. Los empleados se sienten frustrados cuando se les exige utilizar sistemas en los que no confían o que no comprenden, lo que conduce a una disminución de la motivación y el compromiso. En última instancia, las organizaciones se enfrentan a un bajo retorno de la inversión, ya que las ganancias de eficiencia y las mejoras en el rendimiento esperadas no se materializan.

Entender la cultura como un factor central en la transformación digital permite a las pymes cambiar su enfoque de «implementar tecnología» a capacitar a las personas. Una digitalización exitosa requiere crear un entorno que apoye el aprendizaje, la experimentación y la colaboración, donde los errores se traten como parte del proceso de aprendizaje y donde los empleados se sientan seguros para adaptar sus formas de trabajar. Solo cuando se reconoce y se aborda la resistencia cultural, las herramientas digitales pueden convertirse en facilitadores efectivos del desarrollo organizativo y la competitividad a largo plazo.

2. Identificación de las fuentes de resistencia en las PYMES

La resistencia cultural a la digitalización en las pymes no surge de una única causa. Por el contrario, es el resultado de una combinación de factores emocionales, conductuales y organizativos que influyen en cómo responden los individuos y los grupos al cambio. Comprender estas fuentes de resistencia es un primer paso crucial para diseñar estrategias de transformación digital eficaces. Sin un diagnóstico claro, la resistencia puede interpretarse erróneamente como una falta de motivación o competencia, lo que conduce a soluciones inadecuadas que refuerzan aún más las actitudes negativas.

En esta sección se analizan las fuentes de resistencia más comunes identificadas durante la fase de investigación de ET4Digital, prestando especial atención a las reacciones basadas en el miedo, los hábitos arraigados, la falta de confianza y la resistencia impulsada por el liderazgo.

2.1 Resistencia basada en el miedo

El miedo es uno de los motores más fuertes y generalizados de la resistencia a la transformación digital en las pymes. La digitalización a menudo pone a prueba la sensación de seguridad, la competencia y la identidad profesional de los empleados. Cuando no se reconoce o no se aborda el miedo, puede dar lugar a comportamientos defensivos que bloquean o ralentizan el cambio.

Entre los temores comunes identificados en las pymes se incluyen:

- ▶ **Miedo a la pérdida del empleo debido a la automatización**, especialmente entre los empleados que realizan tareas rutinarias o manuales
- ▶ **Miedo a la incompetencia o al fracaso**, vinculado a una baja confianza digital o a una exposición previa limitada a la tecnología
- ▶ **Miedo a un mayor seguimiento o control**, en el que las herramientas digitales se perciben como mecanismos de vigilancia
- ▶ **Miedo a cometer errores en entornos públicos o digitales**, donde los errores se perciben como más visibles y permanentes

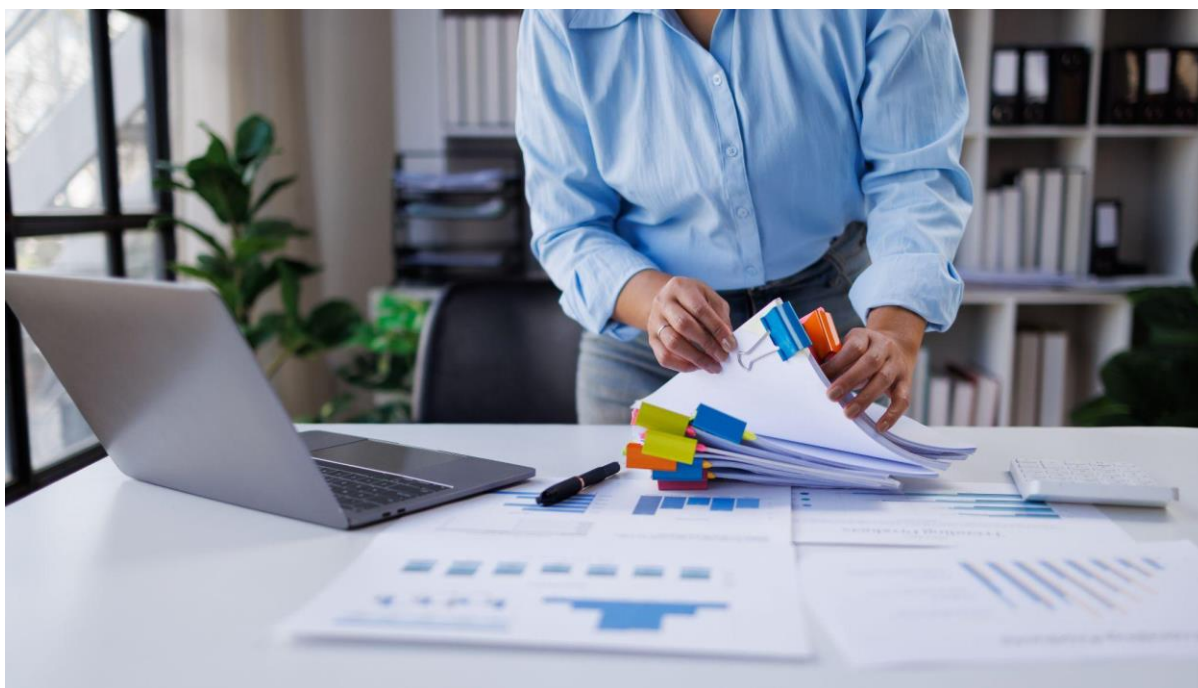
En las pymes, donde los equipos son pequeños y las relaciones son estrechas, estos temores suelen intensificarse. Los empleados pueden preocuparse por perder su estatus, reputación o relevancia dentro de la organización. Los trabajadores de más edad, en particular, pueden sentir que la digitalización favorece a los compañeros más jóvenes o con mayor confianza tecnológica, lo que genera ansiedad y actitudes defensivas. La resistencia basada en el miedo pone de relieve la importancia de abordar las respuestas emocionales a la digitalización, y no solo las necesidades de formación técnica.

2.2 Hábitos y zonas de confort

Otra fuente importante de resistencia radica en los hábitos profundamente arraigados y las zonas de confort. Las pymes suelen basarse en rutinas establecidas desde hace tiempo que se han desarrollado de forma orgánica a lo largo del tiempo. Estas rutinas proporcionan una sensación de estabilidad, previsibilidad y control, incluso cuando son ineficientes.

Entre las características comunes de la resistencia basada en los hábitos se incluyen:

- ▶ Uso continuado de **procesos manuales o en papel**
- ▶ Preferencia por la **comunicación informal** en lugar de canales digitales estructurados
- ▶ Dependencia del **conocimiento personal** en lugar de flujos de trabajo documentados o sistemas compartidos



Estas prácticas no son necesariamente el resultado de una oposición deliberada a la digitalización, sino que reflejan lo que resulta familiar y seguro. Cambiarlas requiere no solo aprender nuevas herramientas, sino también abandonar formas de trabajo establecidas, lo que puede suponer un gran coste emocional.

Entre los comportamientos típicos observados en las pymes se incluyen:

- ▶ Afirmaciones como «*Siempre lo hemos hecho así*»
- ▶ Una clara preferencia por los documentos en papel frente a los digitales, incluso cuando existen versiones digitales
- ▶ Dependencia de una persona clave para conocimientos o procesos críticos

Estos hábitos pueden crear cuellos de botella y vulnerabilidades, al tiempo que refuerzan la resistencia al cambio. Los empleados pueden percibir las herramientas digitales como complicaciones innecesarias en lugar de mejoras, especialmente si los beneficios no son inmediatamente visibles o relevantes a nivel personal.

2.3 Falta de confianza

La confianza es un elemento fundamental para el éxito de la transformación digital. Cuando la confianza es baja, es probable que surja resistencia, incluso si los empleados reconocen los posibles beneficios de las herramientas digitales. En las pymes, las cuestiones relacionadas con la confianza pueden ser especialmente delicadas debido a las estrechas relaciones interpersonales y a las estructuras de gobernanza informales.

Los problemas de confianza pueden dirigirse hacia:

- ▶ **Las nuevas tecnologías**, que pueden percibirse como poco fiables o difíciles de controlar
- ▶ **Las decisiones de la dirección**, especialmente si los cambios anteriores se comunicaron mal o no tuvieron éxito
- ▶ **Consultores o proveedores externos**, a quienes se considera desconectados de la realidad de la pyme
- ▶ **La seguridad y la privacidad de los datos**, incluidas las preocupaciones sobre el uso indebido o la pérdida de datos

La falta de confianza suele dar lugar a formas sutiles pero persistentes de resistencia. Los empleados pueden cumplir formalmente con los requisitos digitales, pero evitando un compromiso significativo. Las herramientas digitales pueden utilizarse de forma superficial o inconsistente, lo que socava su eficacia.

Entre los signos típicos de los entornos de baja confianza se incluyen:

- ▶ Resistencia pasiva y escaso entusiasmo
- ▶ Mínima implicación con las plataformas digitales
- ▶ Evitar las nuevas herramientas cuando existen alternativas

Generar confianza requiere transparencia, una comunicación coherente y la participación de los empleados en los procesos de toma de decisiones. Sin confianza, es poco probable que incluso las soluciones digitales bien diseñadas tengan éxito.

2.4 Resistencia impulsada por el liderazgo

La resistencia a la digitalización no solo proviene de los empleados; también puede estar impulsada por el liderazgo. En las pymes, los propietarios y los directivos desempeñan un papel especialmente influyente, ya que sus actitudes determinan en gran medida la cultura y el comportamiento de la organización.

La resistencia impulsada por los directivos puede deberse a:

- ▶ Propietarios **reacios a perder el control** o a delegar la toma de decisiones en sistemas digitales
- ▶ Gerentes que **carecen de habilidades digitales** y se sienten amenazados por las nuevas tecnologías
- ▶ El miedo a que **se pongan de manifiesto ineficiencias o debilidades** debido a una mayor transparencia

Cuando los líderes se muestran escépticos o descomprometidos, su comportamiento envía una señal muy clara al resto de la organización. Los empleados reconocen rápidamente si la transformación digital cuenta con un apoyo genuino o si simplemente se les impone.

Riesgo clave:

Cuando los líderes se muestran escépticos o pasivos, los empleados tienden a imitar esa actitud, lo que refuerza la resistencia en toda la organización.

Por el contrario, el compromiso del liderazgo y el ejemplo personal se encuentran entre los factores que más facilitan la adopción digital. Los líderes que utilizan abiertamente las herramientas digitales, reconocen su propio proceso de aprendizaje y comunican con claridad el propósito del cambio pueden reducir significativamente la resistencia.

3. Evaluación de la madurez y la preparación digitales

Antes de implementar nuevas herramientas digitales o poner en marcha iniciativas de transformación digital, las pymes deben comprender su **nivel de madurez digital y preparación organizativa**. La evaluación de la madurez digital permite a las organizaciones identificar fortalezas, carencias y riesgos potenciales relacionados no solo con la tecnología, sino también con la cultura, el liderazgo y las competencias. Sin esta comprensión, las inversiones digitales pueden no aportar valor o enfrentarse a una fuerte resistencia interna.

La madurez digital no es un estado fijo, sino un proceso dinámico. Las pymes evolucionan a ritmos diferentes en función de su contexto, sector y recursos. Es importante destacar que una mayor madurez digital no significa necesariamente utilizar tecnologías más avanzadas, sino más bien ser capaz de **adaptarse, aprender e integrar las herramientas digitales de forma eficaz en el trabajo diario**.

3.1 ¿Qué es la madurez digital?

La madurez digital se refiere a la **capacidad** de una organización **para utilizar las tecnologías digitales de forma decidida, segura y sostenible**, respaldada por una cultura, unas competencias, unos procesos y un liderazgo adecuados. Refleja en qué medida las herramientas digitales están integradas en las operaciones diarias y el grado de preparación de las personas para adoptar y adaptarse al cambio tecnológico.

En el contexto de las pymes, la madurez digital no debe confundirse con ser «de alta tecnología» o estar altamente automatizada. Muchas pymes digitalmente maduras utilizan herramientas relativamente sencillas, pero las aplican de

forma coherente y estratégica. Están abiertas a la experimentación, dispuestas a aprender de los errores y son capaces de ajustar sus prácticas a medida que surgen nuevos retos.

Las organizaciones digitalmente maduras suelen demostrar:

- ▶ Confianza en el uso de herramientas digitales
- ▶ Apertura al cambio y al aprendizaje continuo
- ▶ Alineación entre las iniciativas digitales y los objetivos empresariales
- ▶ Apoyo del liderazgo y ejemplo a seguir

Por el contrario, la baja madurez digital suele caracterizarse por un uso fragmentado de las herramientas, falta de coordinación, resistencia al cambio y una comprensión limitada de cómo la digitalización respalda los objetivos de la organización.

Evaluar la madurez digital ayuda a las pymes a pasar de una adopción digital puntual a una estrategia de transformación digital **más intencionada y centrada en las personas**.

3.2 Dimensiones fundamentales de la preparación digital

La preparación digital es multidimensional. Una evaluación holística debe tener en cuenta varias dimensiones interrelacionadas, en lugar de centrarse únicamente en la tecnología. Las siguientes cinco dimensiones proporcionan un marco práctico para las pymes.

Liderazgo y visión

El liderazgo desempeña un papel fundamental en la configuración de la preparación digital. Una visión clara, el compromiso y la comunicación por parte de los propietarios y directivos ponen de manifiesto la importancia de la transformación digital. Los líderes que apoyan activamente las iniciativas digitales, asignan tiempo y recursos, y predicán con el ejemplo crean un entorno favorable para el cambio. Por el contrario, las prioridades poco claras o los mensajes incoherentes aumentan la incertidumbre y la resistencia.

Cultura y mentalidad

La cultura organizativa determina cómo perciben los empleados el cambio, el aprendizaje y la innovación. Una cultura preparada para lo digital valora la curiosidad, la colaboración y la apertura a la experimentación. Los empleados se sienten seguros para hacer preguntas y probar nuevas herramientas sin temor a ser culpados. Por el contrario, una cultura reacia al riesgo o rígida desalienta la iniciativa y refuerza la resistencia.

Habilidades y competencias

La preparación digital requiere un nivel básico de alfabetización digital en todos los puestos, no solo entre los especialistas. Esto incluye la capacidad de utilizar herramientas digitales relevantes para las propias tareas, comprender los flujos de trabajo digitales y adaptarse a los nuevos sistemas. El desarrollo continuo de las habilidades es esencial, ya que la competencia digital no es estática. Las pymes que invierten en formación continua y específica para cada puesto están mejor preparadas para el cambio digital.

Procesos

Las organizaciones preparadas para lo digital integran las herramientas digitales en sus procesos centrales en lugar de utilizarlas como complementos. Esto implica alinear los flujos de trabajo, las responsabilidades y la documentación con los sistemas digitales. Los procesos mal alineados suelen dar lugar a un trabajo paralelo digital y manual, lo que reduce la eficiencia y aumenta la frustración.

Uso de la tecnología

El uso de la tecnología se refiere a la coherencia y eficacia con que se aplican las herramientas digitales. Las pymes preparadas para lo digital seleccionan herramientas que se ajustan a sus necesidades, garantizan una incorporación adecuada y revisan periódicamente su uso. La tecnología debe facilitar el trabajo, en lugar de complicarlo. La atención se centra en la usabilidad, la relevancia y la fiabilidad, más que en la novedad.

3.3 Preguntas sencillas sobre la preparación digital

Las pymes no necesitan marcos complejos para empezar a evaluar su madurez digital. Unas sencillas preguntas de reflexión pueden proporcionar información valiosa e iniciar un diálogo interno.

Algunos ejemplos de preguntas orientativas son:

- ▶ ¿Se sienten los empleados seguros a la hora de experimentar con nuevas herramientas digitales?
- ▶ ¿Se tratan los errores como oportunidades de aprendizaje o como fracasos?
- ▶ ¿La formación digital es continua o se limita a sesiones puntuales?
- ▶ ¿Utilizan los directivos y propietarios las herramientas digitales de forma activa?
- ▶ ¿Están las herramientas digitales claramente vinculadas a las tareas laborales cotidianas?
- ▶ ¿Se recopila y se actúa en consecuencia con regularidad sobre los comentarios relativos a las herramientas digitales?

Estas cuestiones pueden debatirse en reuniones de equipo, talleres o encuestas anónimas. El objetivo no es puntuar el rendimiento, **sino estimular la reflexión y la concienciación**. Al debatir abiertamente estos temas, las pymes pueden identificar los puntos fuertes de su cultura y las áreas que requieren atención antes de implementar nuevas iniciativas digitales.

3.4 Niveles de madurez digital y metodologías de evaluación

Para comprender la madurez digital no solo es necesario identificar las dimensiones clave (por ejemplo, la cultura, las competencias y el liderazgo), sino también reconocer que las pymes suelen evolucionar a través de etapas progresivas de desarrollo digital. Estas etapas ayudan a las organizaciones a situar su posición actual y a definir los siguientes pasos de forma realista.

Niveles comunes de madurez digital (1-5)

Los modelos de madurez digital suelen describir una progresión a través de cinco niveles:

- ▶ **Inicial**
Las actividades digitales son mínimas, desestructuradas y reactivas. Los procesos son principalmente manuales y las herramientas digitales se utilizan de forma irregular o no se utilizan en absoluto.
- ▶ **Emergente**
Se introducen algunas herramientas digitales, pero su uso es fragmentado y no se ajusta a una estrategia clara. La adopción depende de la iniciativa individual más que de la dirección de la organización.
- ▶ **Definida/Estructurada**
La organización comienza a formalizar los procesos digitales. Existe una estrategia más clara y las herramientas digitales se integran en flujos de trabajo específicos, aunque aún pueden existir inconsistencias.
- ▶ **Gestionada/Integrada**
Las tecnologías digitales se implementan y supervisan de forma sistemática. Los procesos están alineados, los datos se utilizan para la toma de decisiones y el liderazgo apoya activamente la transformación digital.
- ▶ **Optimizado/Innovador**
La digitalización está plenamente integrada en la cultura y la estrategia de la organización. La mejora continua, la innovación y la adaptabilidad son características clave, y las herramientas digitales se aprovechan para crear nuevo valor.

Metodologías reconocidas para evaluar la preparación digital

Existen varios marcos internacionales que ofrecen enfoques estructurados para evaluar la madurez y la preparación digital. Estas metodologías son referencias útiles para las pymes y los programas de formación.

Un enfoque ampliamente utilizado es la Evaluación de la Preparación Digital del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), que evalúa a países y organizaciones en dimensiones como la infraestructura, la gobernanza, las competencias y los ecosistemas de innovación. Aunque está diseñada a un nivel más amplio, su marco hace hincapié en la importancia de una evaluación holística y sensible al contexto, que incluya factores humanos e institucionales.

A nivel europeo, las herramientas de evaluación de la madurez digital de la Comisión Europea, en particular dentro de la iniciativa de los Centros de Innovación Digital (EDIH), proporcionan a las pymes instrumentos prácticos para evaluar sus capacidades digitales. Estas herramientas se centran en los procesos empresariales, las competencias digitales y la preparación organizativa, y ofrecen recomendaciones personalizadas para la mejora.

El marco de la OCDE sobre la transformación digital de las pymes también destaca la necesidad de evaluar no solo la adopción de tecnología, sino también las prácticas de gestión, las competencias de la plantilla y la cultura organizativa. Del mismo modo, modelos como el Marco de Capacidades Digitales y los modelos de madurez específicos de cada sector (por ejemplo, la madurez BIM en la construcción) refuerzan la importancia de una evaluación estructurada.

4. Herramientas para la autoevaluación de la cultura digital

Comprender la cultura digital de una organización es un paso crucial para abordar la resistencia cultural a la digitalización. Mientras que las evaluaciones de madurez digital suelen centrarse en las tecnologías y los procesos, las evaluaciones de la cultura digital se centran en las actitudes, los comportamientos y los valores compartidos relacionados con el cambio digital. Las herramientas presentadas en esta sección están diseñadas para ser sencillas, accesibles y adecuadas para pymes con tiempo y recursos limitados. Favorecen la reflexión, el diálogo y la toma de decisiones informadas, más que una evaluación formal.

4.1 Lista de verificación para la autoevaluación de la cultura digital

La lista de verificación para la autoevaluación de la cultura digital es una herramienta práctica que ayuda a las pymes a evaluar en qué medida su cultura organizativa favorece la transformación digital. Se puede utilizar de forma individual, en equipos o en toda la organización. Para obtener los mejores resultados, las respuestas deben recopilarse de forma anónima para fomentar la honestidad y la franqueza.

Se pide a los participantes que califiquen cada afirmación en una escala **del 1 (totalmente en desacuerdo) al 5 (totalmente de acuerdo)**:

- ▶ Se anima a los empleados a sugerir mejoras digitales y a compartir ideas
- ▶ La organización valora y apoya activamente el aprendizaje de nuevas herramientas digitales
- ▶ Los errores digitales se aceptan como parte del proceso de aprendizaje en lugar de castigarse
- ▶ Las herramientas de colaboración (por ejemplo, plataformas compartidas, aplicaciones de comunicación) se utilizan de forma regular y eficaz
- ▶ La dirección se comunica de forma abierta y transparente sobre los cambios y las decisiones digitales

Esta lista de verificación ofrece una visión de las experiencias cotidianas, más que de las políticas formales. Una puntuación alta indica que la digitalización está integrada en el comportamiento diario, mientras que una puntuación baja pone de relieve áreas en las que la resistencia cultural puede estar limitando el progreso.

Interpretación de los resultados:

- ▶ **20-25 puntos:** Cultura digital sólida: la organización muestra un alto grado de preparación para el cambio digital
- ▶ **14-19 puntos:** Cultura digital en desarrollo: existen elementos positivos, pero se necesita más apoyo
- ▶ **Menos de 14 puntos:** Alto riesgo de resistencia cultural: es probable que las barreras culturales obstaculicen las iniciativas digitales

La lista de verificación no debe utilizarse como herramienta de juicio, sino como punto de partida para el debate. Los resultados pueden orientar las decisiones sobre prioridades de formación, estrategias de comunicación y acciones de liderazgo.

4.2 Mapeo de actitudes digitales

El mapeo de actitudes digitales complementa la lista de verificación al centrarse en las percepciones individuales y las respuestas emocionales ante la digitalización. Se invita a los empleados a seleccionar de forma anónima la afirmación que mejor refleje su actitud actual hacia las herramientas digitales y el cambio digital:

- ▶ «Me entusiasman las herramientas digitales y disfruto experimentando con ellas».
- ▶ «Estoy dispuesto a utilizar herramientas digitales, pero me siento inseguro o me falta confianza».
- ▶ «Soy escéptico respecto a las herramientas digitales, pero estoy abierto a que me convenzan».
- ▶ «Me resisto a los cambios digitales y prefiero las formas tradicionales de trabajar».

Este sencillo ejercicio de mapeo ayuda a las organizaciones a comprender la diversidad de actitudes dentro de su plantilla. Pone de relieve la presencia de **posibles embajadores digitales**, así como de personas que pueden necesitar apoyo adicional, tranquilidad o formación a medida.

Los resultados agregados pueden compartirse con los equipos para promover la transparencia y la responsabilidad colectiva. Cuando se combina con un diálogo abierto, el mapeo de actitudes digitales fomenta la empatía, reduce la polarización y ayuda a las organizaciones a diseñar estrategias de transformación digital inclusivas que aborden preocupaciones reales en lugar de suposiciones.

5. Estrategias de comunicación para reducir la resistencia

La comunicación desempeña un papel fundamental a la hora de determinar cómo se percibe y se vive la transformación digital en las pymes. Incluso las iniciativas digitales bien diseñadas pueden fracasar si la comunicación es poco clara, incoherente o se percibe como impuesta. La resistencia suele surgir no porque los empleados se opongan al cambio en sí, sino porque no comprenden su propósito, se sienten excluidos de la toma de decisiones o temen consecuencias negativas. Una comunicación eficaz ayuda a reducir la incertidumbre, a generar confianza y a fomentar la preparación cultural para la digitalización.

5.1 Principios de una comunicación eficaz sobre el cambio

Una comunicación eficaz durante la transformación digital se rige por una serie de principios fundamentales que abordan tanto las necesidades informativas como las emocionales.

La comunicación transparente implica explicar claramente *por qué* es necesario el cambio digital, y no solo *qué* es lo que está cambiando. Los empleados son más propensos a aceptar la digitalización cuando comprenden su justificación empresarial, como responder a las demandas de los clientes, mejorar la eficiencia o garantizar la competitividad a largo plazo. La transparencia también implica debatir abiertamente los retos y las limitaciones, en lugar de presentar la digitalización como una solución perfecta.

La comunicación coherente garantiza que los mensajes sobre el cambio digital se repitan a lo largo del tiempo y estén alineados en los diferentes canales y niveles de la organización. Los anuncios puntuales rara vez son suficientes. Las actualizaciones periódicas, los debates de seguimiento y la participación visible de los líderes refuerzan la importancia de las iniciativas digitales y reducen la incertidumbre causada por mensajes contradictorios.

La comunicación bidireccional reconoce que la transformación digital no es un proceso unidireccional. Los empleados necesitan oportunidades para hacer preguntas, expresar sus preocupaciones y aportar comentarios. El diálogo puede tener lugar a través de reuniones, talleres, encuestas o conversaciones informales. Escuchar activamente y responder a los comentarios demuestra respeto y aumenta el compromiso.

La comunicación empática reconoce que el cambio digital puede resultar estresante y suponer un reto emocional. Reconocer los miedos y las preocupaciones —como el miedo al fracaso, la pérdida de control o el aumento de la carga de trabajo— ayuda a los empleados a sentirse comprendidos en lugar de ignorados. La empatía no significa evitar el cambio, sino abordar su impacto humano con respeto y sensibilidad.

En conjunto, estos principios crean un clima de comunicación que reduce la resistencia y favorece el aprendizaje y la adaptación.

5.2 Enmarcar la digitalización de forma positiva

La forma en que se presenta la digitalización influye significativamente en cómo se percibe. El lenguaje técnico y los conceptos abstractos pueden alejar a los empleados y reforzar la percepción de que el cambio digital es complejo o amenazante. En cambio, la comunicación debe centrarse en **los beneficios prácticos** que son directamente relevantes para el trabajo diario.

Un enfoque eficaz hace hincapié en:

- ▶ La simplificación de las tareas y los flujos de trabajo
- ▶ La reducción del estrés, los errores y el trabajo repetitivo
- ▶ Ahorro de tiempo y mejora de la coordinación
- ▶ Oportunidades para el desarrollo de habilidades y el crecimiento profesional
- ▶

Por ejemplo, en lugar de decir:

«Estamos implementando un nuevo sistema ERP»

Un mensaje más eficaz sería:

«Esta herramienta reducirá el trabajo duplicado, facilitará la búsqueda de información y nos ayudará a coordinarnos mejor como equipo»

Al vincular las herramientas digitales con mejoras concretas, las organizaciones pueden cambiar la percepción de que se trata de una obligación a que es una oportunidad.



5.3 Involucrar a los empleados desde el principio

La participación temprana es una de las formas más eficaces de reducir la resistencia y generar confianza. Cuando los empleados participan en el proceso de transformación digital, es más probable que sientan que el proyecto les pertenece y que se responsabilicen de su éxito.

Entre las buenas prácticas se incluyen:

- ▶ Crear **grupos piloto** para probar las herramientas y recabar opiniones
- ▶ Organizar **talleres de diseño colaborativo** en los que los empleados contribuyan a dar forma a las soluciones digitales
- ▶ Identificar y apoyar a **los/las «campeones/as digitales»** entre el personal, que pueden actuar como mentores de sus compañeros

La participación permite a los empleados influir en las decisiones, compartir conocimientos prácticos y ver cómo se abordan sus preocupaciones. Este enfoque participativo transforma la digitalización de una iniciativa de arriba abajo en un proceso de aprendizaje colectivo, lo que refuerza el compromiso y reduce la resistencia.

6. Estrategias prácticas para superar la resistencia

Superar la resistencia cultural a la digitalización requiere algo más que concienciación y comunicación; **exige acciones prácticas y visibles** que demuestren el valor del cambio digital y apoyen a las personas a lo largo de todo el proceso. Las pymes, en particular, se benefician de estrategias flexibles y centradas en las personas que respetan los recursos limitados al tiempo que maximizan el compromiso y el aprendizaje. En esta sección se presentan enfoques prácticos que han demostrado su eficacia para reducir la resistencia y fomentar la confianza en lo digital.

6.1 Empezar poco a poco y ampliar gradualmente

Una de las estrategias más eficaces para superar la resistencia es evitar los cambios grandes y disruptivos y, en su lugar, **empezar con pasos pequeños y manejables**. Los proyectos piloto permiten a las pymes probar herramientas digitales en un entorno controlado, aprender de la experiencia y realizar ajustes antes de una implementación más amplia.



Los proyectos piloto consisten en seleccionar un proceso, equipo o departamento concreto para probar una solución digital. Este enfoque reduce la percepción de riesgo y permite a los empleados experimentar sin temor a consecuencias generalizadas. Los comentarios de los usuarios del proyecto piloto pueden servir de base para introducir mejoras y aumentar la aceptación entre el resto de la plantilla.

Los resultados rápidos son pequeñas mejoras que aportan beneficios inmediatos y visibles, como la reducción del papeleo, el ahorro de tiempo o la mejora de la coordinación. Los resultados rápidos ayudan a contrarrestar el escepticismo al demostrar que las herramientas digitales pueden resolver problemas reales en lugar de crear otros nuevos.

Los beneficios visibles son esenciales para generar confianza y motivación. Cuando los empleados observan mejoras concretas en su trabajo diario —como menos errores, un acceso más fácil a la información o una comunicación más fluida— son más propensos a apoyar nuevas iniciativas digitales. Hacer visibles estos beneficios a través de ejemplos, testimonios o el intercambio informal refuerza las percepciones positivas sobre la digitalización.

6.2 La formación como empoderamiento

La formación suele malinterpretarse como una actividad puntual centrada en la instrucción técnica. En el contexto de la resistencia cultural, una formación digital eficaz debe considerarse como un empoderamiento, que permite a los empleados sentirse seguros, capaces y respaldados.

Una formación digital eficaz en las pymes es:

- ▶ **Práctica**, centrada en tareas reales y herramientas cotidianas
- ▶ **Específica para cada función**, adaptada a las necesidades y responsabilidades de los diferentes empleados
- ▶ **Continua**, que deja tiempo para la práctica, la repetición y el aprendizaje gradual

Las sesiones breves y prácticas suelen ser más eficaces que los cursos teóricos prolongados. Ofrecer acceso a asistencia, tutoriales o recursos de ayuda internos reduce aún más la ansiedad y la frustración.

El aprendizaje entre pares resulta especialmente eficaz en las pymes, donde el intercambio informal de conocimientos ya es habitual. Los compañeros con mayor confianza en el ámbito digital pueden actuar como mentores, apoyando a los demás en un entorno familiar y de confianza. Este enfoque no solo desarrolla las habilidades, sino que también refuerza la colaboración y reduce el miedo al juicio ajeno.

6.3 Reconocer y recompensar el compromiso

El reconocimiento desempeña un papel fundamental a la hora de moldear el comportamiento y reforzar el cambio cultural. Las pymes no necesitan sistemas de recompensa formales o costosos para fomentar el compromiso digital. Un reconocimiento sencillo y visible puede aumentar significativamente la motivación.

Las organizaciones pueden reconocer y recompensar:

- ▶ **La curiosidad**, como la disposición a probar nuevas herramientas o a hacer preguntas
- ▶ **La colaboración**, como ayudar a los compañeros o compartir conocimientos
- ▶ **La iniciativa digital**, como proponer mejoras o experimentar con nuevas soluciones

El reconocimiento puede ser informal y de bajo coste, por ejemplo, a través de elogios verbales, el reconocimiento público en reuniones o pequeñas recompensas simbólicas. Lo más importante es que los esfuerzos se noten y se valoren.



Caso práctico 1: AICE Consulting – Digitalización en servicios de ingeniería civil y diseño (Italia)

Perfil de la empresa

AICE Consulting es una pequeña empresa de servicios de arquitectura e ingeniería (A/E) con sede en Pisa, Italia, fundada en 1990. La empresa opera a nivel nacional e internacional y cuenta con menos de 50 empleados. Sus actividades principales incluyen la planificación, el diseño, la gestión de proyectos, la supervisión de obras, la coordinación de la seguridad, la prevención de incendios, el análisis sísmico, la certificación de eficiencia energética y los estudios de diagnóstico de edificios civiles, monumentos históricos e infraestructuras como puentes, viaductos y túneles.

Sector: Servicios de ingeniería civil y construcción

Tecnologías digitales utilizadas: Modelado de Información de Construcción (BIM), escaneo láser 3D, herramientas de análisis térmico

Iniciativa digital

AICE Consulting ha introducido progresivamente tecnologías digitales para mejorar la calidad y la eficiencia de sus servicios de diseño e ingeniería. En los últimos años, la empresa ha participado en varios proyectos destinados a aplicar el escaneo láser, las metodologías BIM y las herramientas de análisis digital para la inspección estructural y la evaluación energética de edificios públicos existentes que requieren renovación.

Las tecnologías digitales están ahora integradas en múltiples fases de los servicios de AICE, incluyendo el diseño, la supervisión de la construcción, los ensayos y la coordinación de la seguridad. La adopción del BIM ha permitido a la empresa desarrollar levantamientos y modelos de gran precisión, lo que facilita una mejor toma de decisiones durante el diseño y la construcción y mejora la planificación del funcionamiento y el mantenimiento a largo plazo.

Retos culturales y organizativos

Si bien la digitalización aportó claras ventajas técnicas, su implementación supuso un reto significativo para una organización pequeña. La cantidad y complejidad de las herramientas digitales, combinadas con unos recursos humanos y financieros limitados, exigieron un cambio cultural dentro de la empresa. Los ingenieros y diseñadores tuvieron que pasar de flujos de trabajo tradicionales, basados en disciplinas, a procesos digitales más integrados y colaborativos.

Para hacer frente a estos retos, AICE desarrolló herramientas digitales personalizadas y protocolos internos adaptados a sus necesidades específicas. Este proceso requirió una actitud abierta al aprendizaje, la experimentación y la aceptación de las ineficiencias iniciales. La empresa también invirtió en el desarrollo de nuevas funciones y competencias profesionales, fomentando una cultura de mejora continua y responsabilidad compartida en materia de innovación digital.

Beneficios experimentados de la digitalización

Según la experiencia de AICE, la digitalización ha dado lugar a:

- ▶ Una mayor precisión y calidad de los análisis técnicos
- ▶ Una mejor coordinación entre disciplinas a través de modelos BIM compartidos
- ▶ Optimización de los presupuestos de los proyectos y de la funcionalidad de la construcción
- ▶ Reducción de errores y de la necesidad de volver a realizar trabajos

- ▶ Ahorros a largo plazo en los costes de operación y mantenimiento

Más allá de las ventajas técnicas, la digitalización propició un nuevo enfoque del diseño integrado, reforzando la colaboración y el intercambio de conocimientos dentro de la organización.

Lecciones clave y buenas prácticas

AICE Consulting destaca varias lecciones relevantes para las pymes del sector de la construcción:

- ▶ La transformación digital requiere una adaptación organizativa y cultural, no solo un nuevo software
- ▶ Los equipos de tamaño medio y multidisciplinares son los que más se benefician de la colaboración basada en BIM
- ▶ La interoperabilidad entre programas sigue siendo un reto fundamental
- ▶ El desarrollo futuro debería integrar el BIM con sistemas de monitorización, sensores y realidad aumentada

Este caso demuestra cómo una pequeña pyme de ingeniería puede adoptar con éxito la digitalización combinando la adopción tecnológica con el cambio cultural, el aprendizaje interno y la transformación gradual de los procesos.

Caso práctico 2: Pich Arquitectos – Innovación digital en la práctica arquitectónica (España)

Perfil de la empresa
Pich Arquitectos es un estudio de arquitectura con vocación internacional, con sede en Barcelona y fundado en 1986. La empresa cuenta con menos de 50 empleados y opera tanto en el sector público como en el privado. Su trabajo se centra en integrar la tecnología, la sostenibilidad y la innovación en los proyectos de construcción a través de conocimientos especializados en sostenibilidad y actividades internas de I+D.

Sector: Arquitectura y diseño de la construcción

Tecnologías digitales utilizadas: Modelado de Información de Construcción (BIM), escaneo 3D, herramientas de simulación energética, modelado paramétrico

Iniciativa digital

Pich Arquitectos mantiene un compromiso de larga data con la exploración y la adopción de tecnologías digitales como parte fundamental de su enfoque de diseño. El estudio entrega regularmente proyectos basados en modelos 3D, integrando modelos arquitectónicos, estructurales y de climatización siempre que sea posible. Las herramientas digitales también se utilizan para simulaciones energéticas, análisis de iluminación y acústica, evaluación del ciclo de vida (LCA) y visualización mediante renders y vídeos.

La empresa participa activamente como probadora beta en el desarrollo de herramientas de evaluación del ciclo de vida basadas en BIM, lo que refleja su actitud proactiva y experimental hacia la innovación digital. Las tecnologías de escaneo 3D se aplican en proyectos de rehabilitación para capturar con precisión las condiciones existentes, lo que permite obtener soluciones de diseño más precisas y eficientes.

Retos culturales y sectoriales

A pesar de su preparación interna, Pich Arquitectos identifica las barreras culturales de todo el sector como una limitación importante para la digitalización. La arquitectura es intrínsecamente colaborativa e implica a múltiples partes interesadas, como ingenieros, contratistas y proveedores. El progreso digital se ve limitado cuando estos actores avanzan a ritmos diferentes o carecen de la preparación necesaria para trabajar con modelos BIM compartidos.

Otros retos incluyen la incompatibilidad de software y la limitada interoperabilidad de datos entre plataformas. Las estrictas normas de intercambio de datos y las diferentes prácticas de modelización a menudo reducen la flexibilidad y complican la colaboración. Estos retos ponen de relieve que la transformación digital no depende solo de las empresas individuales, sino de la cultura digital colectiva del ecosistema de la construcción.

Beneficios experimentados de la digitalización

La digitalización ha permitido a Pich Arquitectos adoptar un enfoque de diseño industrializado y modular, que favorece el desarrollo de edificios circulares y sostenibles. Los componentes de construcción claramente definidos y las conexiones en seco se adaptan bien a los flujos de trabajo digitales, lo que permite una mejor optimización y evaluación de las soluciones técnicas.

Entre las principales ventajas se incluyen:

- ▶ Capacidad para explorar múltiples escenarios de diseño y energéticos a nivel interno sin costes adicionales
- ▶ Mayor precisión y viabilidad en los proyectos de renovación gracias al escaneo 3D
- ▶ Mayor colaboración cuando los socios industriales participan desde el inicio de la fase de diseño
- ▶ Mejor integración de las consideraciones de sostenibilidad y ciclo de vida en las decisiones de diseño

Lecciones clave y buenas prácticas

Pich Arquitectos destaca varias lecciones relevantes para las pymes del sector de la construcción:

- ▶ La transformación digital requiere **una preparación compartida por parte de todas las partes interesadas**, no solo de las empresas individuales
- ▶ El BIM y el modelado 3D aportan el máximo valor cuando la colaboración es totalmente digital
- ▶ La interoperabilidad sigue siendo una barrera fundamental para su adopción generalizada
- ▶ La experimentación y el aprendizaje continuos favorecen la madurez digital a largo plazo

Este caso ilustra cómo una pyme proactiva en el ámbito digital puede impulsar la innovación al tiempo que supera las barreras culturales y estructurales dentro del sector de la construcción en general.

Ejercicios

Elija la mejor respuesta para cada pregunta. La clave de respuestas se encuentra al final de esta sección.

1. La transformación digital en las pymes se ve limitada principalmente por la falta de acceso a tecnologías avanzadas.

- A) Verdadero
- B) Falso

2. ¿Cuál de las siguientes opciones NO es una causa habitual de resistencia cultural a la digitalización en las pymes?

- A) Miedo a la pérdida del empleo
- B) Hábitos y rutinas arraigados
- C) Alto nivel de confianza de los empleados
- D) Escepticismo del liderazgo

3. La madurez digital no consiste en ser «de alta tecnología», sino en ser digitalmente _____ y adaptable.

- A) Avanzado
- B) Caro
- C) Seguro
- D) Automatizado

4. ¿Cuál de las siguientes dimensiones forma parte de la evaluación de la preparación digital en las pymes?

- A) Tamaño de la oficina
- B) Liderazgo y visión
- C) Presupuesto de marketing
- D) Estructura jurídica

5. En una cultura digital sólida, los errores cometidos al utilizar herramientas digitales se consideran oportunidades de aprendizaje.

- A) Verdadero
- B) Falso

6. ¿Qué enfoque de comunicación es más eficaz para reducir la resistencia al cambio digital?

- A) Anuncios puntuales centrados en detalles técnicos
- B) Instrucciones de arriba abajo sin retroalimentación
- C) Una comunicación transparente, coherente y bidireccional
- D) Evitar debatir las preocupaciones de los empleados

1. Empezar con proyectos piloto y resultados rápidos ayuda a las pymes a reducir la resistencia al hacer que las ventajas digitales sean _____.

- A) Opcionales
- B) Visibles
- C) Complejas
- D) Teóricos

2. ¿Por qué el aprendizaje entre pares es especialmente eficaz en las pymes?

- A) Elimina la necesidad de herramientas digitales

- B) Depende únicamente de consultores externos
- C) Fomenta la confianza a través de compañeros conocidos
- D) Sustituye el papel de la dirección

Respuestas

1) B 2) C 3) C 4) B 5) A 6) C 7) B 8) C

Referencias

- AICE Consulting (2024) *Estudio de caso: AICE Consulting – Digitalización de las pymes del sector de la construcción*. Disponible en: <https://digital-construction.ec.europa.eu/en/best-practice/23/consultora-aice> (Consultado el 15 de enero de 2026).
- Comisión Europea (2019) *Cuadro de indicadores de la transformación digital 2018: Las empresas de la UE se digitalizan*. Luxemburgo: Oficina de Publicaciones de la Unión Europea.
- Comisión Europea (2020) *Estrategia para las pymes de una Europa sostenible y digital*. Bruselas: Comisión Europea.
- Comisión Europea (2021) *Índice de Economía y Sociedad Digitales (DESI) 2021*. Bruselas: Comisión Europea.
- Consejo Europeo de Innovación y Agencia Ejecutiva para las Pymes – EISMEA (2024) *Digitalización de las pymes de la construcción – Portal de buenas prácticas*. Disponible en: <https://digital-construction.ec.europa.eu/best-practices> (Consultado: 15 de enero de 2026).
- OCDE (2019) *Las pymes en la era digital*. París: Publicaciones de la OCDE. <https://doi.org/10.1787/b7fd1f7c-en>
- Rogers, E.M. (2003) *Difusión de innovaciones*. 5.ª ed. Nueva York: Free Press.
- Schein, E.H. (2017) *Cultura organizacional y liderazgo*. 5.ª ed. Hoboken, NJ: Wiley.
- Vial, G. (2019) «Understanding digital transformation: A review and a research agenda», *The Journal of Strategic Information Systems*, 28(2), pp. 118–144.
- Westerman, G., Bonnet, D. y McAfee, A. (2014) *Liderazgo digital: cómo convertir la tecnología en transformación empresarial*. Boston, MA: Harvard Business Review Press.
- Pich Architects (2024) *Estudio de caso: Pich Architects – Digitalización de las pymes de la construcción*. Disponible en: <https://digital-construction.ec.europa.eu/best-practice/20/pich-arquitectos> (Consultado el 15 de enero de 2026).

Tema 2: Incorporación de la cultura digital en las pymes del sector de la construcción

Objetivos y resultados de aprendizaje y glosario

Objetivos de aprendizaje

Este módulo de formación está diseñado para proporcionar a los formadores profesionales una comprensión integral de cómo integrar la cultura digital en las pequeñas y medianas empresas (pymes) del sector de la construcción. Al finalizar, los formadores estarán capacitados para guiar a las pymes de la construcción a través de las dimensiones de la transformación digital centradas en las personas, centrándose en las prácticas de liderazgo, las culturas de aprendizaje, los sistemas de reconocimiento y la planificación estratégica que hacen posible un cambio cultural sostenible.

Al impartir la formación basada en este módulo, tenga en cuenta lo siguiente:

- ▶ Adaptar los ejemplos a tu contexto local y al marco normativo
- ▶ Incorporar ejemplos reales de empresas constructoras locales que hayan integrado con éxito prácticas digitales o una transformación cultural en sus empresas (por ejemplo, a través de ponentes invitados)
- ▶ Facilitar debates entre pares en los que los participantes compartan sus propias experiencias con los retos y soluciones de la cultura digital
- ▶ Hacer hincapié en que el cambio cultural es gradual y requiere un compromiso de liderazgo sostenido, no solo soluciones tecnológicas rápidas
- ▶ Relacionar los conceptos de la cultura digital con los conocimientos previos de los participantes sobre las actividades de la construcción, la gestión de la mano de obra y la estrategia

Resultados de aprendizaje

- ▶ Definir qué significa «cultura digital» en el contexto de las pymes de la construcción.
- ▶ Identificar prácticas de liderazgo y trabajo en equipo que promuevan el aprendizaje continuo y la innovación.
- ▶ Desarrollar iniciativas sencillas para fomentar la confianza digital y el compromiso entre los empleados.
- ▶ Demostrar cómo alinear las herramientas y los procesos digitales con los valores y los flujos de trabajo de la empresa.
- ▶ Crear un plan de acción para poner en marcha una cultura que dé prioridad a lo digital en su organización.

Glosario

Gestión del cambio	Enfoque sistemático para abordar la transformación organizativa, incluyendo procesos, tecnologías y cambios culturales.
Adopción digital	El grado en que las herramientas y los procesos digitales se integran en las operaciones diarias y son aceptados por los empleados.
Defensores de lo digital	Empleados/as que defienden la transformación digital, apoyan a sus compañeros/as en la adopción de nuevas tecnologías e impulsan la innovación desde dentro.
Competencia digital	La capacidad de utilizar las tecnologías digitales de forma eficaz y con confianza para alcanzar los objetivos laborales.
Cultura digital	Un entorno laboral en el que las formas de trabajar digitales están integradas en los valores, los comportamientos y las prácticas cotidianas de toda la organización.
Liderazgo digital	El grado en que una organización ha integrado con éxito las tecnologías, los procesos y la mentalidad digitales.
Madurez digital	Resistencia a la digitalización por parte de las personas propietarias o encargadas de la dirección de las pymes que se muestran reacias al cambio o carecen de confianza en el ámbito digital.
Estrategia digital	Un plan a largo plazo que describe cómo una organización utilizará las tecnologías digitales para alcanzar sus objetivos.
Cultura de innovación	Un entorno organizativo que fomenta la experimentación, recompensa la resolución creativa de problemas y apoya la asunción de riesgos calculados.
Aprendizaje entre pares	Aprendizaje informal en las pymes en el que la plantilla se apoya mutuamente en la adopción de herramientas digitales.
Resistencia al cambio	Barreras psicológicas y organizativas que impiden o ralentizan la adopción de nuevas tecnologías, procesos o formas de trabajar.

Introducción

El sector de la construcción se encuentra en una encrucijada crítica. Si bien las tecnologías digitales ofrecen oportunidades transformadoras para mejorar la eficiencia y la calidad, muchas pequeñas y medianas empresas (pymes) tienen dificultades para ir más allá de la adopción aislada de tecnología y avanzar hacia una verdadera transformación digital. A menudo, no basta con adquirir nuevo software o equipos. A medida que surgen y evolucionan las nuevas tecnologías, se vuelve fundamental que las empresas adapten y evolucionen sus culturas en respuesta a ello (Deep 2023). Las empresas deben cultivar una cultura digital en la que el aprendizaje continuo, la innovación y el pensamiento «digital first» se integren en el ADN de la organización. Para las pymes de la construcción, desarrollar una cultura digital suele suponer un cambio fundamental, que abarca tanto el uso de nuevas herramientas y tecnologías como las mentalidades, los comportamientos y los valores que guían el trabajo diario. Una cultura digital sólida permite a las pymes adaptarse rápidamente a los cambios, atraer y retener a trabajadores cualificados, mejorar la colaboración entre proyectos y seguir siendo competitivas en un mercado cada vez más digital.

La encuesta a expertos del sector de la construcción y al personal de educación y formación profesional, analizada como parte del WP2 del proyecto ET4Digital, concluye que las principales barreras que limitan la adopción de tecnologías digitales en las pymes de la construcción son los elevados costes iniciales, la falta de competencias internas, la resistencia cultural al cambio y la formación específica insuficiente. Por lo tanto, las conclusiones del proyecto coinciden con las investigaciones existentes, que muestran que el éxito de la transformación digital depende más de las personas y la cultura que de la tecnología por sí sola (Nasr, Swidsan, Alazabi 2025; Furstenthal et al. 2022). Según los estudios sobre transformación digital, las organizaciones que dan prioridad al liderazgo digital y cultivan culturas favorables a la innovación obtienen resultados significativamente mejores que aquellas que se centran únicamente en la implementación tecnológica. El sector de la construcción, que a menudo se caracteriza por cadenas de suministro fragmentadas, trabajo basado en proyectos y un enfoque históricamente conservador ante el cambio, se enfrenta a retos únicos a la hora de construir una cultura digital.

Por lo tanto, este módulo proporciona a los formadores profesionales marcos prácticos, ejemplos y estrategias para ayudar a las pymes de la construcción a integrar la cultura digital. Reconoce que la transformación cultural es un proceso gradual que requiere el compromiso del liderazgo, la implicación de los empleados y un refuerzo continuo a través de la formación, las prácticas y los sistemas de reconocimiento.

El módulo está estructurado para abarcar:

- ▶ Definir la cultura digital en el contexto de las pymes de la construcción y comprender sus componentes
- ▶ Integrar la competencia digital en los planes de formación de la empresa y el desarrollo de la plantilla
- ▶ Crear culturas de aprendizaje a través del aprendizaje entre pares, la tutoría y el intercambio de conocimientos
- ▶ Reconocer y recompensar la innovación para reforzar los comportamientos digitales
- ▶ Desarrollar estrategias digitales a largo plazo alineadas con las capacidades de las pymes

Al finalizar este módulo, los formadores estarán preparados para guiar a las pymes del sector de la construcción a través de las dimensiones culturales de la transformación digital, complementando la formación técnica con las prácticas de liderazgo, las estructuras organizativas y los sistemas de incentivos necesarios para un cambio sostenible.

1. ¿Cómo entender la cultura digital en las pymes de la construcción?

1.1 Definición de la cultura digital

La cultura digital en las pymes de la construcción se refiere a un entorno organizativo en el que las herramientas digitales, la toma de decisiones basada en datos y el aprendizaje continuo son parte integral de cómo se realiza, se comunica y se valora el trabajo. A diferencia de la adopción digital (que se centra en la implementación de la tecnología), la cultura digital abarca las creencias, los comportamientos cotidianos y las prácticas que sustentan una transformación digital.

El concepto se manifiesta a través de varias dimensiones interconectadas:

- ▶ Surge una mentalidad digital cuando los empleados ven las herramientas digitales no como cargas impuestas desde arriba, sino como facilitadores que hacen que su trabajo sea más fácil, seguro y eficaz
- ▶ La colaboración y el intercambio de información se vuelven naturales cuando las plataformas digitales facilitan una comunicación transparente
- ▶ La toma de decisiones basada en datos sustituye a las decisiones basadas únicamente en la experiencia o la intuición
- ▶ La innovación y la experimentación florecen cuando la organización fomenta la asunción de riesgos calculados, aprende de los fracasos y recompensa la resolución creativa de problemas
- ▶ El aprendizaje continuo se integra en la empresa u organización a través de la formación reglada, el aprendizaje entre pares y las oportunidades de aprendizaje autónomo

En el caso concreto de las pymes de la construcción, la cultura digital debe equilibrar las realidades del sector: la naturaleza práctica y presencial del trabajo, los distintos niveles de competencia y la disposición de los empleados a adoptar la tecnología, así como las limitaciones presupuestarias y la estructura basada en proyectos, que pueden dificultar la mejora continua.

1.2 Por qué la cultura digital es importante para las pymes del sector de la construcción

La transformación digital puede dar lugar a aumentos de la productividad de entre el 14 % y el 15 %, y a reducciones de costes de entre el 4 % y el 6 % (McKinsey Global Institute, 2019). Sin embargo, estas mejoras solo se materializan cuando la adopción de la tecnología va acompañada de un cambio cultural adecuado. Investigaciones recientes han identificado que el liderazgo digital y la cultura digital son instrumentos fundamentales para la transformación digital en las empresas (Peter, Kraft y Lindeque, 2020). Además, las pymes de la construcción se enfrentan a presiones actuales que hacen que la cultura digital sea especialmente importante:

- ▶ **Escasez de mano de obra cualificada:** El sector de la construcción se enfrenta al envejecimiento de la población activa y a la dificultad para atraer a trabajadores más jóvenes. Un lugar de trabajo moderno y digitalizado resulta atractivo para los nativos digitales.
- ▶ **Complejidad de los proyectos:** Los proyectos de construcción implican múltiples oficios y partes interesadas, normativas complejas y márgenes ajustados. La cultura digital permite una mejor coordinación y colaboración, reduciendo así los errores (de comunicación), y mejora la ejecución de los proyectos mediante una comunicación transparente y el intercambio de datos.
- ▶ **Cumplimiento normativo:** El aumento de los requisitos de la UE y nacionales en materia de documentación digital, informes de sostenibilidad y cumplimiento del BIM hacen que la competencia digital sea esencial para licitar en contratos públicos.
- ▶

- ▶ **Presiones de costes:** En los últimos años, los costes de la construcción se han mantenido elevados. La cultura digital favorece la optimización de procesos, la reducción de residuos y el aumento de la eficiencia, lo que reduce los costes.
- ▶ **Imperativo de sostenibilidad:** Las herramientas digitales permiten el seguimiento de las emisiones de carbono, facilitan las prácticas de economía circular y la optimización de recursos, aspectos cada vez más exigidos por los clientes y las normativas, como por ejemplo el Pacto Verde Europeo.

1.3 Retos para la creación de una cultura digital en las pymes de la construcción

Barrera	Retos específicos	Repercusión en las pymes
Costes elevados	Presupuestos limitados para programas de formación, soporte informático e inversiones en tecnología	Dificultad para mantener esfuerzos de transformación sostenidos, lo que da lugar a una tendencia hacia soluciones rápidas en lugar de un cambio sistémico
Déficit de competencias	Empleados que carecen de conocimientos digitales básicos	Infrautilización de la tecnología, frustración y desmotivación; persistencia de procesos manuales paralelos
Resistencia cultural	Tradición que valora la experiencia práctica, lo que da lugar a escepticismo hacia las prácticas digitales por parte de los profesionales con experiencia	Bajas tasas de adopción, soluciones alternativas activas, posible tensión entre generaciones y funciones
Fragmentación estructural	Trabajo por proyectos en múltiples emplazamientos, equipos temporales y plantilla distribuida	Formación inconsistente, comunicación difícil y diferentes niveles de conocimiento/cultura
Dependencias de sistemas heredados	Software obsoleto, procesos manuales arraigados y, por lo tanto, flujos de trabajo principalmente en papel	Altos costes de inversión, resistencia al aprendizaje y a la integración de nuevas herramientas
Enfoque a corto plazo	Presión para completar los proyectos actuales de forma rentable y capacidad (financiera) limitada para la inversión estratégica	Las iniciativas culturales pierden prioridad durante los periodos de mayor actividad, lo que da lugar a un refuerzo inconsistente del cambio

Las investigaciones sobre la transformación digital identifican que la resistencia de los empleados debido al miedo a la pérdida del empleo y la renuencia a cambiar procesos familiares, así como la falta de competencias digitales y de mentalidad digital, se encuentran entre las barreras más significativas para la digitalización (Kahveci 2025). Abordar estas barreras culturales requiere un compromiso sostenido por parte del liderazgo y enfoques estratégicos que equilibren las necesidades operativas inmediatas con el desarrollo cultural a largo plazo.

2. Integración de la competencia digital en los planes de formación de la empresa

2.1 Evaluación de las competencias digitales actuales

Antes de desarrollar planes de formación, las pymes deben comprender los niveles de competencia digital existentes en toda la plantilla. La evaluación debe abarcar no solo las habilidades técnicas, sino también las actitudes hacia la tecnología y las preferencias de aprendizaje. Deben identificar tanto las carencias individuales como los patrones sistémicos (por ejemplo, la falta generalizada de alfabetización de datos y/o el uso limitado de herramientas de colaboración en todo el equipo).

Entre los enfoques prácticos de evaluación se incluyen:

- ▶ Identificar las habilidades y opiniones de los empleados sobre su comodidad con las herramientas actuales, su interés en aprender nuevas tecnologías y las necesidades de formación percibidas utilizando escalas de valoración sencillas (1-5)
- ▶ Observaciones del rendimiento que identifiquen dónde se infrautilizan las herramientas digitales, dónde los empleados solicitan ayuda repetidamente o dónde se recurre a soluciones alternativas que eluden los sistemas digitales
- ▶ Sesiones de retroalimentación a través de debates en pequeños grupos en los que los empleados compartan los retos a los que se enfrentan en su trabajo diario, las frustraciones con las tecnologías actuales y las ideas de mejora
- ▶ Marcos de competencias, ya sean adoptados de modelos existentes como EU DigComp o desarrollados como definiciones sencillas y específicas para cada función, por ejemplo:
 - a. Trabajadores de obra: documentación fotográfica y elaboración de informes básicos con dispositivos móviles
 - b. Gestores de proyectos: seguimiento de costes y plataformas para comunicarse con los clientes
 - c. Personal de oficina: análisis de datos y gestión de archivos digitales

Las empresas también pueden utilizar pruebas de evaluación existentes que están disponibles de forma gratuita, por ejemplo, la prueba [MyDigiSkills](#). La prueba dura unos 20 minutos, se basa en el Marco de Competencias Digitales para los Ciudadanos de la UE (DigComp) y está disponible en todas las lenguas de la UE. Además de la alfabetización informacional y de datos, la comunicación y colaboración (digitales), la creación de contenidos digitales y las habilidades para la resolución de problemas técnicos, esta prueba también puede utilizarse para autoevaluar las habilidades relacionadas con la seguridad en entornos digitales.



Fuente de la imagen: [Pixabay](#)

2.2 Principios clave para el diseño de programas de formación digital eficaces

Las investigaciones sobre la transformación digital de las pymes destacan que el éxito de la transformación digital depende de una plantilla con competencias digitales y de una cultura de aprendizaje continuo, que puede reforzarse mediante oportunidades adecuadas de formación y desarrollo para los empleados (Kargas et al., 2025). Entre los principios clave se incluyen:

- ▶ **Relevancia:** La formación debe estar directamente relacionada con el trabajo diario. Los conceptos abstractos pueden resultar demasiado complicados, por lo que se necesitan aplicaciones prácticas. Los formadores deben mostrar cómo las herramientas digitales resuelven problemas reales a los que se enfrentan los empleados en su trabajo diario.
- ▶ **Aprendizaje justo a tiempo:** la formación impartida cuando los empleados la necesitan, por ejemplo, antes del inicio de nuevos proyectos, durante la implantación de software o actualizaciones importantes, o cuando se introducen nuevos procesos, maximiza la aplicación y la retención.
- ▶ **Enfoques combinados:** Los formadores deben combinar distintos métodos para adaptarse a los diferentes estilos de aprendizaje y horarios de trabajo:
 - a. Los tutoriales en vídeo breves (<5 minutos), accesibles en dispositivos móviles, favorecen el microaprendizaje y la profundización de los conocimientos
 - b. La gamificación fomenta la motivación y permite la autoevaluación de los conocimientos adquiridos
 - c. Los talleres prácticos durante los periodos de menor actividad permiten un desarrollo intensivo de las habilidades
 - d. El coaching presencial ofrece apoyo personalizado
 - e. Las asociaciones de aprendizaje entre compañeros crean relaciones de apoyo duraderas
 - f. Las sesiones con expertos externos sobre temas especializados ofrecen conocimientos avanzados y relevancia práctica
- ▶ **Complejidad escalonada:** Empezar con funciones básicas genera confianza antes de introducir características avanzadas. Abrumar a los usuarios novatos podría provocar su desmotivación.
- ▶ **Certificación y reconocimiento:** Ofrecer certificados, insignias o reconocimiento formal por completar la formación. Esto motiva la participación y crea indicadores visibles de competencia y progreso.
- ▶ **Aprendizaje continuo:** Dado que la competencia digital no es un logro puntual, las empresas deben integrar oportunidades de aprendizaje continuo en sus flujos de trabajo, por ejemplo, ofreciendo sesiones periódicas de «almuerzo y aprendizaje», actualizaciones tecnológicas y cursos de actualización.

2.3 Integración del aprendizaje digital en el flujo de trabajo

Para las pymes con recursos limitados, los programas de formación formales pueden ser escasos. La integración de oportunidades de aprendizaje en las operaciones diarias hace que el desarrollo continuo sea sostenible:

- ▶ Como parte de las revisiones tecnológicas que se llevan a cabo antes de que comience el proyecto, se informa a los equipos sobre las herramientas digitales pertinentes, los flujos de trabajo y los requisitos de documentación
- ▶ Durante las retrospectivas realizadas una vez finalizado el proyecto, se reserva tiempo para revisar qué enfoques digitales funcionaron bien, qué retos surgieron y qué lecciones se aprendieron
- ▶ Los programas de «campeones digitales» aprovechan las capacidades existentes de los empleados identificando a aquellos con competencia técnica que estén dispuestos a apoyar a sus compañeros
- ▶ Las guías de referencia rápida específicas para herramientas o tareas respaldan el rendimiento sin requerir una formación exhaustiva
- ▶ Las relaciones de mentoría emparejan a empleados con confianza digital con aquellos que necesitan apoyo
- ▶ Dedicar un pequeño porcentaje del tiempo de trabajo (por ejemplo, 1-2 horas al mes) explícitamente al desarrollo de competencias digitales demuestra el compromiso de la organización

3. Creación de una cultura de aprendizaje: aprendizaje entre pares y tutoría

3.1 El poder del aprendizaje entre pares en las pymes de la construcción

Las investigaciones sobre la transformación digital de las pymes de la construcción destacan que las iniciativas de aprendizaje entre pares y mentoría ayudan a las pymes a aprender de casos prácticos reales y a desarrollar confianza en la aplicación de herramientas digitales (revisión sistemática de ASOCSA2025). Este intercambio de conocimientos entre compañeros de niveles organizativos similares resulta especialmente eficaz en las pymes de la construcción por varias razones:

- ▶ **Credibilidad:** los consejos de los compañeros tienen más peso que las directrices de la dirección o de consultores externos que no son ellos mismos artesanos. Los trabajadores confían en quienes «hablan su idioma» y, por lo tanto, comprenden las limitaciones prácticas.
- ▶ **Accesibilidad:** Los compañeros están disponibles de inmediato en la obra, lo que elimina las barreras de programación de la formación formal. Las preguntas se responden cuando es necesario.
- ▶ **Seguridad:** Hacer preguntas a los compañeros resulta menos intimidatorio que admitir ante los supervisores que se tienen lagunas de conocimiento. Esto fomenta la experimentación y la resolución de problemas.
- ▶ **Rentabilidad:** el aprendizaje entre pares requiere una inversión financiera mínima en comparación con la formación externa, lo que lo hace ideal para las pymes con recursos limitados.
- ▶ **Retención del conocimiento:** Enseñar a otros refuerza la propia comprensión y genera un conocimiento más profundo.

3.2 Estructuración de iniciativas de aprendizaje entre pares

Sin embargo, el aprendizaje entre pares eficaz requiere un diseño intencionado, en lugar de esperar que el intercambio informal de conocimientos se produzca de forma espontánea. Existen varios enfoques estructurados que favorecen el aprendizaje entre pares eficaz:

- ▶ Los grupos de trabajo predefinidos podrían reunir a los empleados en torno a temas o herramientas específicos para celebrar reuniones periódicas en las que los miembros compartan consejos, retos y soluciones
- ▶ Las sesiones de «almuerzo y aprendizaje» podrían dedicar una pausa para el almuerzo al mes a que un empleado muestre una herramienta digital, comparta una historia de éxito de un proyecto o enseñe una habilidad
- ▶ Los sistemas de compañeros emparejan a los nuevos empleados o a aquellos con menos confianza en el ámbito digital con expertos digitales a través de relaciones estructuradas
- ▶ El acompañamiento laboral o la rotación de puestos permite a los empleados probar diferentes funciones o proyectos en los que las prácticas digitales difieren, lo que fomenta una comprensión más amplia
- ▶ Los centros de conocimiento internos proporcionan un acceso centralizado al aprendizaje colectivo a través de carpetas compartidas o espacios de intranet, lo que también fomenta la alfabetización digital
- ▶ Como parte de las reuniones de balance tras proyectos importantes, los miembros del equipo pertinentes se reúnen para debatir qué ha funcionado bien en el ámbito digital y cómo se pueden introducir mejoras

3.3 Programas formales de mentoría

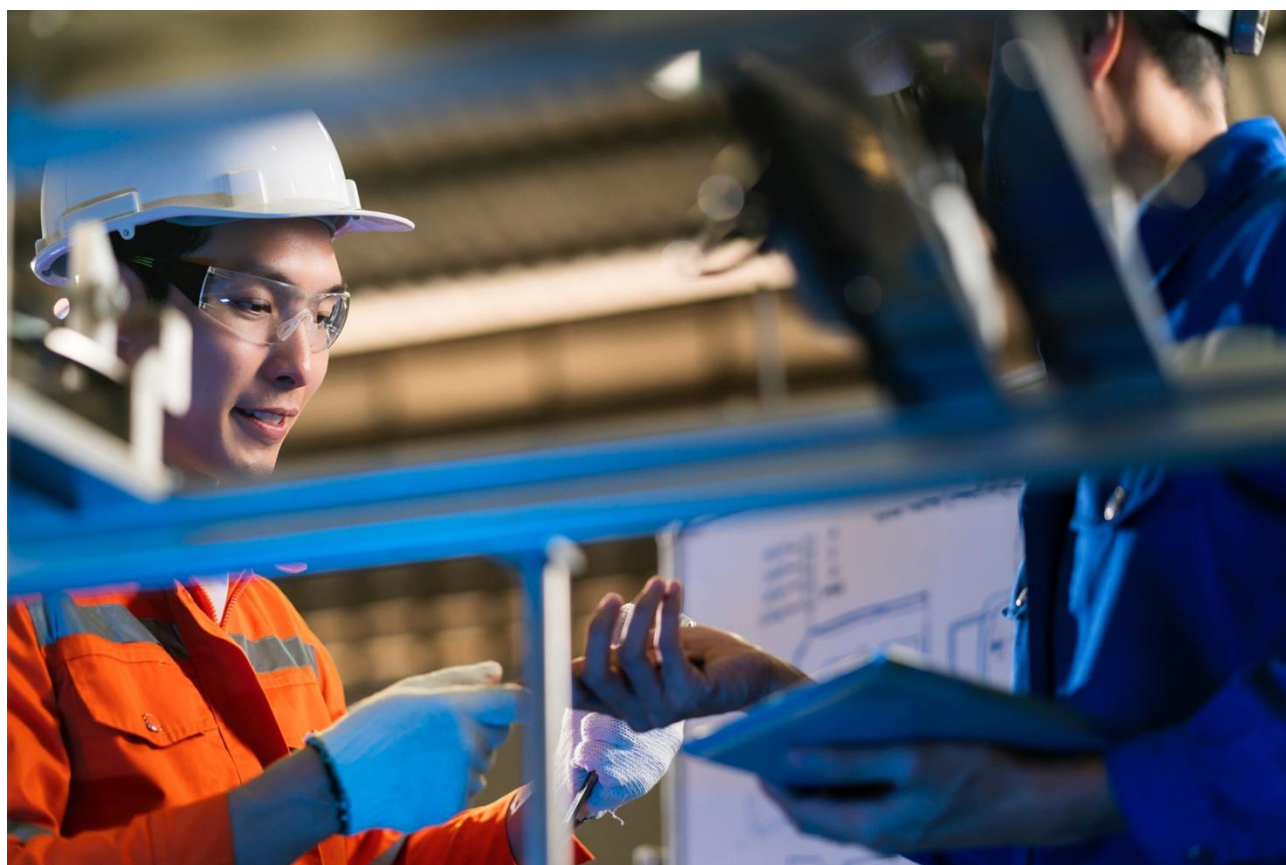
Mientras que el aprendizaje entre pares funciona de manera informal, las relaciones de mentoría se benefician de una estructura que garantiza resultados productivos. Unos objetivos claros definen lo que se pretende lograr con la mentoría, por ejemplo: «al final del trimestre, el mentorado utiliza con confianza y de forma independiente el software de planificación». Los objetivos específicos y medibles centran los esfuerzos y permiten evaluar el éxito.

El proceso de emparejamiento tiene en cuenta la compatibilidad de personalidades, las fortalezas técnicas y la disponibilidad a la hora de emparejar a mentores y alumnos, en lugar de asignaciones aleatorias. Un emparejamiento bien pensado aumenta el éxito de la relación y garantiza que los mentores posean la experiencia relevante para las necesidades del alumnado. Los compromisos de tiempo deben establecerse desde el principio, evitando la frustración cuando los participantes tienen diferentes suposiciones sobre las horas necesarias para alcanzar los objetivos.

El seguimiento del progreso mediante reuniones periódicas entre las parejas de mentor y mentorado y los responsables garantiza que la mentoría siga siendo productiva y aborda los problemas de relación de forma temprana, antes de que estos hagan fracasar la colaboración. La supervisión por parte de la dirección también demuestra el compromiso de la organización y proporciona apoyo a los mentores si es necesario.

La formación específica dota a los mentores de habilidades básicas de coaching, como la escucha activa, formular preguntas orientativas en lugar de limitarse a dar respuestas y ofrecer comentarios constructivos. De este modo, el desarrollo de habilidades básicas de coaching mejora la eficacia de la mentoría, incluso si los/las empleados/as con competencia técnica carecen de experiencia docente.

El reconocimiento valora públicamente a los mentores por sus contribuciones mediante certificados o menciones en las comunicaciones de la empresa. Esto motiva la participación al tiempo que pone de manifiesto el valor que la organización otorga al intercambio de conocimientos, animando a otros a ofrecerse como mentores.



Fuente de la imagen: [freepik](https://www.freepik.com)

4. Reconocer y recompensar la innovación

4.1 Por qué es importante el reconocimiento

En las organizaciones que intentan un cambio cultural, los sistemas de reconocimiento refuerzan poderosamente los comportamientos deseados. El reconocimiento satisface las necesidades psicológicas de aprecio y logro, aumentando el compromiso y la disposición a ir más allá de los requisitos mínimos, lo que, por lo tanto, favorece que los empleados repitan las buenas prácticas. Además, el reconocimiento puede conducir a un mayor compromiso de los empleados a la hora de apoyarse mutuamente, ayuda a que los cambios se mantengan y también tiene un impacto positivo en la experiencia de los/las empleados/as, incluyendo el fomento de la innovación (Grossman 2022).

4.2 Diseño de sistemas de reconocimiento para la innovación digital

Un reconocimiento eficaz en las pymes del sector de la construcción incorpora varios principios de diseño:

- ▶ La especificidad es importante. Por lo tanto, el reconocimiento debe identificar comportamientos o innovaciones digitales específicos, en lugar de elogios vagos
- ▶ La oportunidad amplifica el impacto, ya que el reconocimiento inmediato tras el comportamiento resulta más eficaz
- ▶ La diversidad en los tipos de reconocimiento se adapta a las diferentes preferencias individuales, por ejemplo:
 - a. Reconocimiento público en reuniones de equipo o boletines informativos
 - b. Notas de agradecimiento privadas por parte de la dirección
 - c. Pequeñas recompensas tangibles (p. ej., invitaciones a comer)
 - d. Oportunidades (dirigir proyectos interesantes, asistir a conferencias, probar nuevas herramientas)
 - e. Premios formales (empleado del mes, reconocimiento anual a la excelencia)
- ▶ La inclusividad garantiza que existan oportunidades de reconocimiento en todos los puestos y en todos los niveles de la organización, no solo para los directivos o los especialistas técnicos
- ▶ La autenticidad es esencial, ya que el reconocimiento forzado o insincero es contraproducente y alimenta el cinismo

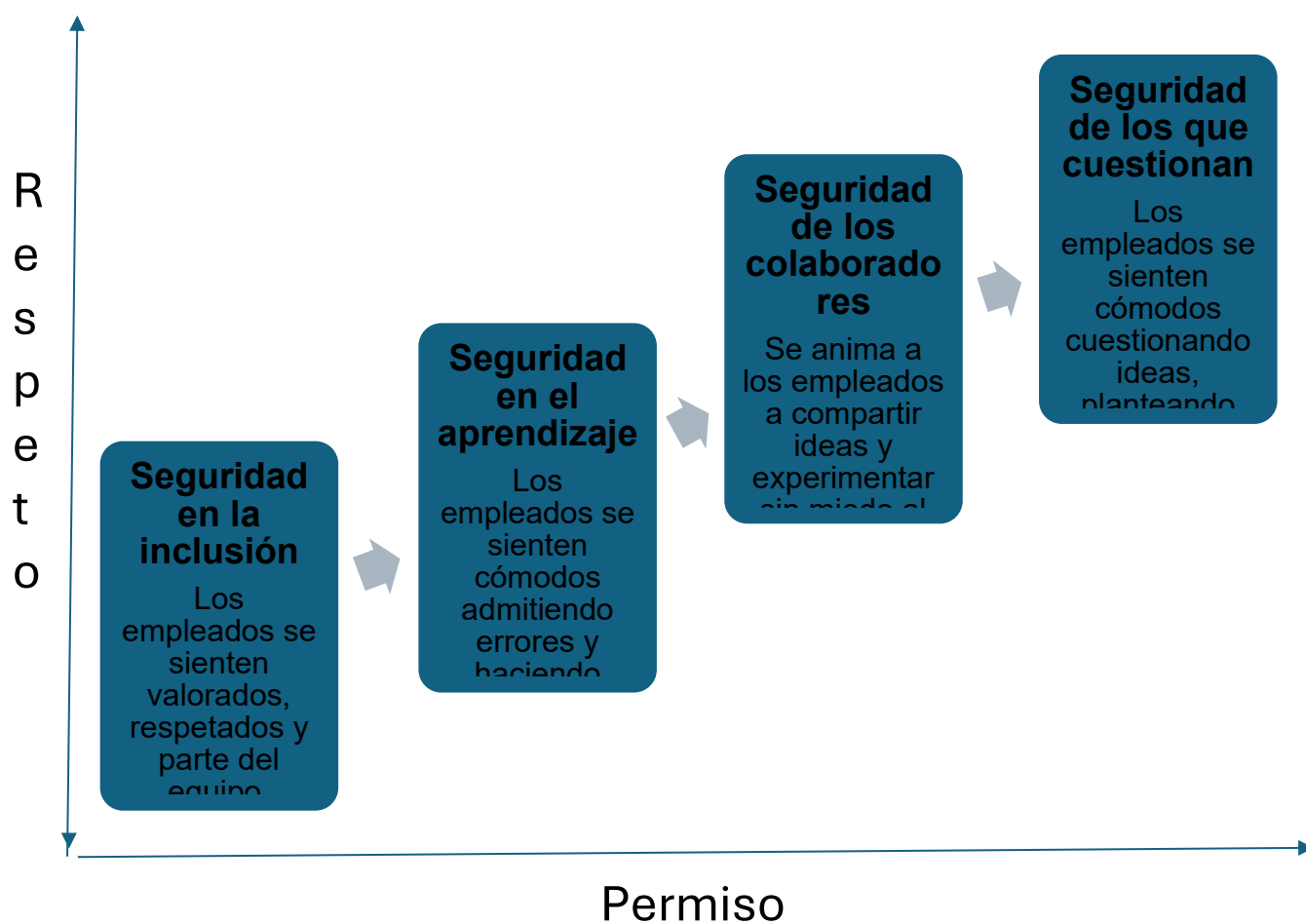
4.3 Crear seguridad psicológica para la innovación

El reconocimiento por sí solo resulta insuficiente si los empleados temen al fracaso. La seguridad de que los empleados pueden asumir riesgos sin sufrir desventajas es esencial para fomentar la innovación. Varias prácticas pueden respaldar esta seguridad:

- ▶ Normalizar la experimentación mediante el debate abierto por parte de los líderes sobre sus propios retos y fracasos en el aprendizaje digital
- ▶ Crear «espacios seguros» designados para probar nuevos enfoques
- ▶ Centrarse en el aprendizaje mediante la realización de análisis posteriores a los eventos que no tengan como objetivo culpar a nadie, sino extraer las lecciones aprendidas
- ▶ Proteger a quienes asumen riesgos cuando los empleados intentan innovar de buena fe, pero los resultados son decepcionantes

Los estudios sobre la transformación digital destacan que las culturas favorables a la innovación en las pymes, que fomentan la creatividad, el aprendizaje y la asunción de riesgos, respaldan su rendimiento. Sin embargo, las pymes que

no logran desarrollar dicha cultura pueden tener dificultades para aprovechar plenamente los beneficios de la transformación digital (Lee 2026).



5. Desarrollo de una estrategia digital para PYMES

5.1 Por qué las pymes necesitan una estrategia digital

Muchas pymes del sector de la construcción adoptan herramientas digitales de forma reactiva, solo en respuesta a los requisitos de los clientes o a la presión de la competencia, sin una intención estratégica. Este enfoque reactivo conduce a ecosistemas tecnológicos fragmentados, inversiones desperdiciadas, confusión entre los empleados y oportunidades perdidas.

Una estrategia digital proporciona orientación, alinea las inversiones con los objetivos empresariales y permite un desarrollo cultural sostenido.

5.2 Primeros pasos

Es recomendable dedicar tiempo suficiente al análisis, incorporar perspectivas externas, aprovechar los conocimientos internos, priorizar las áreas de actuación e involucrar a todos los empleados en el proceso de implementación. Desglosado en pasos individuales, esto puede incluir lo siguiente:

Paso 1: ¿En qué situación se encuentra la empresa?

Una revisión detallada de la situación técnica actual y de los procesos operativos puede constituir un punto de partida útil. Esto incluye identificar qué procesos ya cuentan con el apoyo de herramientas digitales, así como considerar aspectos como las relaciones con los clientes y la comunicación interna y externa. También puede resultar útil reflexionar sobre qué herramientas digitales se conocen ya y cómo se están utilizando. En este contexto, las herramientas de autoevaluación (véase más arriba) pueden ofrecer una orientación valiosa.

Paso 2: Identificar las necesidades

Los procesos que consumen tiempo y reducen la productividad pueden examinarse de forma sistemática, incluyendo áreas como la programación, el suministro de piezas de repuesto, la movilidad, las ventas, el marketing, la facturación o la documentación. En esta fase, resulta útil centrarse menos en soluciones inmediatas y más en identificar dónde el apoyo digital podría tener mayor impacto. Estas áreas potenciales de mejora pueden servir como puntos de referencia importantes para la planificación posterior.

Paso 3: Definición de componentes

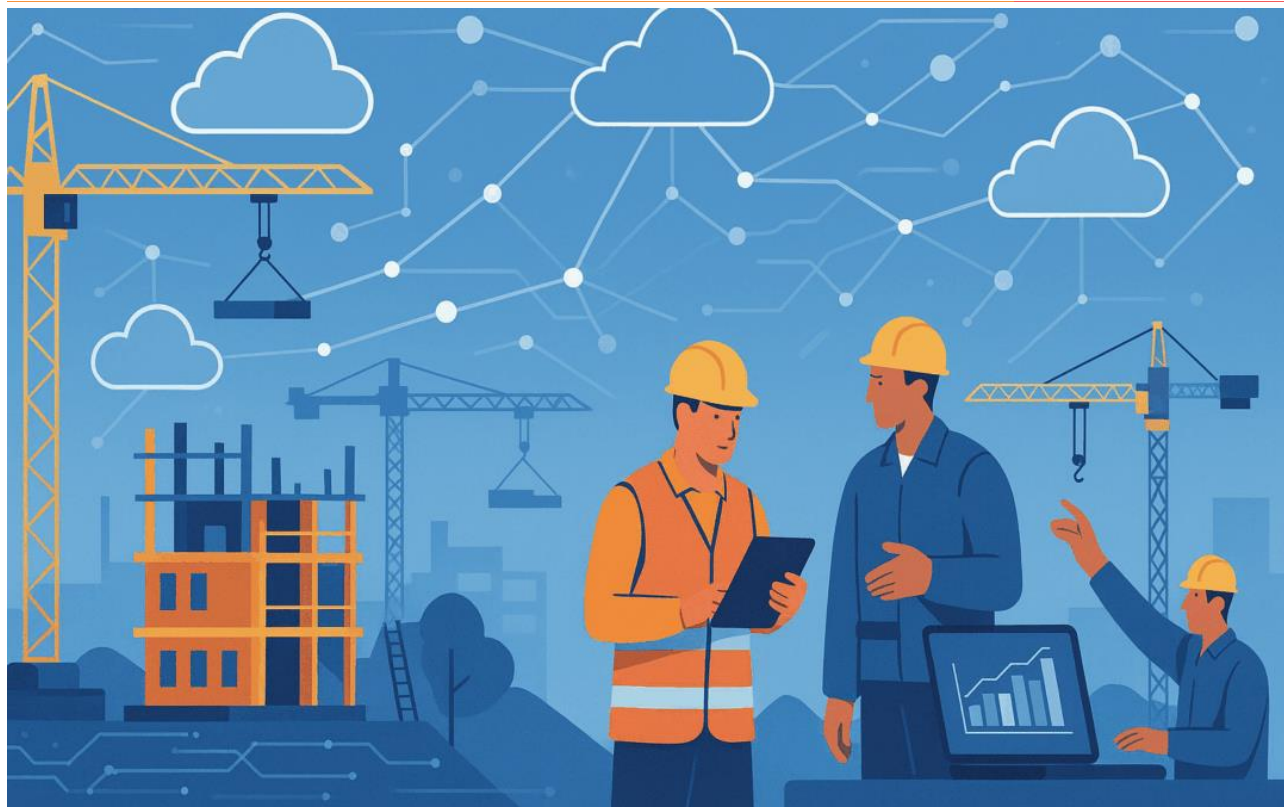
La digitalización puede abarcar diferentes dimensiones, como la automatización de procesos, la gestión y la seguridad de los datos, la selección e introducción de hardware y software adecuados, así como el uso de la inteligencia artificial. Una estrategia de digitalización es más eficaz cuando se adapta a las necesidades específicas de la empresa. El asesoramiento externo puede resultar beneficioso durante este proceso, tanto desde una perspectiva técnica y económica como en lo que respecta a las oportunidades de financiación disponibles. En muchos países, las cámaras y las organizaciones sectoriales ofrecen servicios de asesoramiento e información sobre los programas de financiación pertinentes.

Paso 4: Poner en marcha

Un factor clave para el éxito radica en identificar un enfoque que se ajuste a las capacidades y necesidades de la empresa. Puede resultar útil comenzar por aquellas áreas en las que la necesidad de actuar y el potencial de mejora son más evidentes. Al introducir nuevas soluciones de software, deben tenerse en cuenta aspectos como la facilidad de uso, el soporte técnico, las actualizaciones periódicas y la compatibilidad con los sistemas existentes. También hay que considerar el tiempo necesario para las fases de prueba y el mantenimiento continuo. Analizar cómo otras empresas han abordado retos similares puede proporcionar una orientación adicional.

Paso 5: Involucrar al equipo

La digitalización va más allá de la tecnología, ya que a menudo conlleva cambios en los flujos de trabajo establecidos y requiere nuevas competencias. Por este motivo, fomentar una actitud positiva hacia el cambio entre los empleados puede ser un elemento importante para el éxito. Una comunicación transparente sobre las medidas previstas y sus beneficios ayuda a generar comprensión y aceptación. Involucrar a los empleados desde el principio y de forma continua en el proceso, incluso en el desarrollo de la estrategia, también puede resultar valioso, ya que a menudo el equipo ya cuenta con conocimientos prácticos e ideas de mejora. Dedicar tiempo suficiente a reuniones y formación favorece el desarrollo de nuevas competencias y ayuda a garantizar que las soluciones digitales se integren de forma efectiva en el trabajo diario.



Fuente de la imagen: futurelinkit.com (CC BY-NC 4.0)

5.3 Componentes de una estrategia digital para pymes

Para las pymes, una estrategia digital no tiene por qué ser complicada: la simplicidad y la concentración son fundamentales. Las estrategias digitales eficaces para las pymes del sector de la construcción deben incluir varios componentes:

- ▶ Una visión clara que articule lo que la transformación digital aportará a la empresa, por ejemplo: «Convertirnos en el pequeño contratista con mayor capacidad de respuesta de nuestra región a través de la comunicación digital con los clientes».
- ▶ Objetivos priorizados: seleccionar entre 3 y 5 metas digitales específicas y cuantificables alineadas con la estrategia empresarial, por ejemplo:
 - a. Reducir el tiempo dedicado a la gestión de proyectos en un 30 % mediante la automatización de los flujos de trabajo con IA
 - b. Consiga una puntualidad del 90 % en la entrega de proyectos mediante la planificación y la coordinación digitales
 - c. Ganar el 50 % de las licitaciones del sector público demostrando la capacidad BIM
 - d. Aumentar la retención de empleados en un 25 % mediante oportunidades de desarrollo de competencias digitales
- ▶ Una hoja de ruta por fases que divide la transformación en etapas alcanzables con objetivos claros a lo largo de varios años, por ejemplo:
 - a. Fase 1 (Año 1): Desarrollo de competencias digitales básicas entre la plantilla, implementación de herramientas básicas de colaboración, uso de documentación móvil
 - b. Fase 2 (Año 2): Desarrollo de capacidades BIM avanzadas, uso del análisis de datos
 - c. Fase 3 (Año 3): Automatización de procesos rutinarios, implementación de análisis predictivos
- ▶ Asignación de recursos que especifique el presupuesto, el tiempo, los compromisos de personal y las posibles opciones de financiación, por ejemplo:

- a. Subvenciones de la UE para la innovación digital
- b. inversiones conjuntas con socios
- c. asociaciones con proveedores (tecnológicos)
- ▶ Estructuras de gestión que definan los procesos de toma de decisiones para las inversiones digitales, la responsabilidad de la implementación de la estrategia y la frecuencia de las revisiones
- ▶ Métricas de éxito que establezcan indicadores concretos para medir el progreso, por ejemplo:
 - a. índices de uso de herramientas digitales
 - b. puntuaciones de satisfacción de los empleados
 - c. comentarios de los clientes

Caso práctico

Creación de una cultura digital a través de la innovación y el desarrollo de los empleados

Antecedentes de la empresa

Stuck-Belz es una empresa tradicional de estuco y enlucido con sede en Bonn, Alemania, que opera desde un patio en el corazón de la ciudad, donde se encuentran sus oficinas, el almacén y el taller interno. La empresa es un negocio familiar con profundas raíces en la artesanía tradicional y cuenta con aproximadamente 20 empleados. A pesar de operar en un sector artesanal tradicional que se enfrenta a una escasez generalizada de mano de obra cualificada en toda Alemania, Stuck-Belz se ha distinguido por su enfoque sistemático para integrar la cultura digital junto con la excelencia artesanal

Retos para la empresa

Al igual que muchas pymes de la construcción tradicionales, Stuck-Belz se enfrentaba a varios retos interrelacionados:

- ▶ Crisis de mano de obra cualificada: el sector de la construcción en Alemania experimentó una grave escasez de trabajadores cualificados
- ▶ Mentalidades tradicionales en la era digital: al ser una empresa de estuco y enlucido con profundas tradiciones artesanales, la plantilla estaba acostumbrada a enfoques prácticos y basados en la experiencia. La introducción de herramientas digitales y procesos basados en datos requería una transformación cultural, no solo la implementación de tecnología

Transformación de la cultura digital

En lugar de implementar la tecnología por el simple hecho de hacerlo, Stuck-Belz adoptó un enfoque centrado en las personas para construir una cultura digital. La estrategia integró varias iniciativas complementarias:

- ▶ Stuck-Belz estableció la formación periódica y los talleres para los empleados como práctica organizativa fundamental. Estas sesiones abordaban no solo las habilidades técnicas, sino también las habilidades sociales fundamentales para el trabajo de la construcción moderna. Entre los ejemplos recientes se incluyen:
- ▶ Taller sobre cómo gestionar preguntas difíciles de los clientes en situaciones cotidianas en las obras, algo que muchos empleados encontraban complicado
- ▶ Sesión con un «Feelgood Manager» utilizando la metodología «LEGO Serious Play» para examinar la satisfacción de los empleados y desarrollar sugerencias de mejora para los procesos internos. Esta disposición a emplear métodos poco convencionales para comprender las perspectivas de los empleados ejemplifica la seguridad psicológica y la mentalidad innovadora que son fundamentales para la cultura digital.

- ▶ La implementación de la infraestructura digital incluyó un software de gestión de proyectos que gestionaba más de 100 proyectos, realizaba un seguimiento de las horas de trabajo, la satisfacción del cliente y el consumo de materiales con reposición automática. Los teléfonos móviles proporcionados por la empresa crearon conectividad entre la oficina y las obras, lo que permitió compartir información en tiempo real respetando al mismo tiempo las realidades del trabajo móvil y en las obras.
- ▶ La innovación a través de perspectivas externas se materializó cuando el área de bienestar de un yate de lujo requirió molduras de estuco intrincadas, imposibles de realizar mediante trabajo manual. La exploración de la tecnología de impresión 3D creó una línea de negocio completamente nueva. La empresa ahora imprime moldes directamente en silicona.
- ▶ Los programas estratégicos de formación profesional ofrecían cuatro puestos anuales con empleo garantizado tras superar el examen. Los aprendices actuales actúan como embajadores de la formación, liderando colaboraciones con colegios y guarderías en las que los jóvenes visitan las instalaciones y crean obras de estuco. Esto genera entre 60 y 80 solicitudes al año para cuatro puestos, lo que elimina la escasez de trabajadores cualificados.

Resultados

- ▶ La captación de talento generó entre 15 y 20 solicitudes por cada puesto de aprendizaje.
- ▶ Las capacidades de innovación se ampliaron gracias a la experiencia en impresión 3D y a los múltiples premios, lo que a su vez proporcionó publicidad gratuita a la empresa.
- ▶ La eficiencia operativa mejoró gracias a la gestión digital de proyectos, el seguimiento automatizado de materiales y la conectividad en tiempo real con las obras.
- ▶ La transformación cultural permitió que los empleados se sintieran cómodos con métodos de desarrollo no convencionales, la seguridad psicológica para ofrecer comentarios sinceros y una mentalidad de aprendizaje integrada.

Factores clave de éxito

- ▶ La inversión continua en aprendizaje a través de talleres periódicos demostró un compromiso genuino con el desarrollo.
- ▶ La inversión sistemática en desarrollo y herramientas modernas atrae a los trabajadores jóvenes
- ▶ Al lograr un equilibrio entre tradición e innovación, se utilizaron herramientas digitales para promover la artesanía, por ejemplo, mediante la impresión 3D, que permite realizar trabajos que antes eran imposibles de llevar a cabo manualmente, y mediante software que reduce la carga de trabajo de los trabajadores cualificados, permitiéndoles centrarse en su oficio.
- ▶ El énfasis en las perspectivas externas y el aprendizaje en red fomentó una apertura organizativa hacia nuevas ideas.
- ▶ Demostrar cualidades de liderazgo mediante el uso personal de herramientas digitales —tanto en los éxitos como en los procesos de aprendizaje— puso de manifiesto un compromiso genuino.

Ejercicios

Elija la mejor respuesta para cada pregunta. La clave de respuestas se encuentra al final de esta sección.

1. La cultura digital en las pymes de la construcción se refiere únicamente a la adopción de herramientas y tecnologías digitales .

- A) Verdadero
- B) Falso

2. ¿Cuál de las siguientes opciones NO se identifica como una barrera clave para la creación de una cultura digital en las pymes de la construcción?

- A) Las limitaciones de recursos y los presupuestos reducidos
- B) Las carencias de competencias y la falta de alfabetización digital
- C) Disponibilidad de tecnologías digitales en el mercado
- D) Resistencia al cambio por parte de los trabajadores con experiencia

3. Los _____ son empleados que abogan por la transformación digital, apoyan a sus compañeros en la adopción de nuevas tecnologías e impulsan la innovación desde dentro de la organización.

- A) Gestores digitales
- B) Campeones digitales
- C) Consultores digitales
- D) Automatizado

4. ¿Por qué el aprendizaje entre pares es especialmente eficaz en las pymes del sector de la construcción?

- A) Requiere costosas licencias de software
- B) Solo puede funcionar en entornos de oficina
- C) Los consejos de los compañeros de trabajo tienen más credibilidad que las directrices de la dirección
- D) Elimina la necesidad de cualquier formación formal

5. Una estrategia digital para pymes debe ser exhaustiva y detallada, y abarcar todos los aspectos posibles de la transformación digital desde el principio.

- A) Verdadero
- B) Falso

6. ¿Cuál es el objetivo principal de los sistemas de reconocimiento en la transformación de la cultura digital?

- A) Reducir los salarios de los empleados ofreciendo recompensas no monetarias
- B) Identificar a los mejores empleados para ascenderlos
- C) Reforzar los comportamientos digitales deseados y señalar las prioridades de la organización
- D) Cumplir con la normativa laboral

7. Según las investigaciones citadas en el módulo, las empresas de construcción que adoptan la transformación digital experimentan aumentos medios de productividad de hasta _____ y reducciones de costes de hasta _____.

- A) 5 % / 2 %
- B) 10 % / 5 %
- C) 15 % / 6 %
- D) 20 % / 10 %

8. ¿Cuál es uno de los aspectos más importantes para crear seguridad psicológica y fomentar la innovación en las pymes?

- A)** El respeto
- B)** Rendimiento
- C)** Castigos
- D)** Uso de herramientas digitales

Respuestas

1) B 2) C 3) B 4) C 5) B 6) C 7) C 8) A

Referencias

- Bendanec (2020) Las 4 etapas del marco de seguridad psicológica. Disponible en: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:The_4_Stages_of_Psychological_Safety_Framework,_Dr._Timothy_R_Clark.png (Consultado el 23 de marzo de 2026).
- Deep, G. (2023) El impacto de la transformación digital en la cultura organizacional. *International Journal of Science and Research Archive*, 10(0), pp. 396–401. Disponible en: <https://doi.org/10.30574/ijrsra.2023.10.2.0977> (Consultado el 23 de marzo de 2026).
- Furstenthal, L., McClain, J., Quinn, B. y Roth, E. (2022) Innovadores comprometidos: cómo los maestros de lo esencial obtienen mejores resultados. Disponible en: <https://www.mckinsey.de/capabilities/strategy-and-corporate-finance/our-insights/committed-innovators-how-masters-of-essentials-outperform#/> (Consultado el 23 de marzo de 2026).
- Grossman, D. (2022) 7 maneras de reforzar el cambio con el reconocimiento. Disponible en: <https://www.yourthoughtpartner.com/blog/7-ways-to-reinforce-change-with-recognition> (Consultado el 23 de marzo de 2026).
- Held, P., Heubeck, T. y Meckl, R. (2025) Impulsar la transformación digital de las pymes: el papel de las capacidades dinámicas en el fomento del liderazgo digital y la cultura digital. *Review of Managerial Science*. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11846-025-00919-5> (Consultado el 23 de marzo de 2026).
- Kahveci, E. (2025) La transformación digital en las pymes: facilitadores, interconexiones y un marco para la ventaja competitiva sostenible. *Administrative Sciences*, 15(3), p. 107. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/389954864_Digital_Transformation_in_SMEs_Enablers_Interconnections_and_a_Framework_for_Sustainable_Competitive_Advantage (Consultado el 23 de marzo de 2026).
- Kargas, A. et al. (2025) Una revisión bibliográfica sistemática sobre la transformación digital de las pymes. Disponible en: <https://doi.org/10.20944/preprints202510.2077.v1> (Consultado el 23 de marzo de 2026).
- Klien, M. y Weingärtler, M. (2025) El sector de la construcción en Europa se encamina hacia una recuperación moderada: previsiones de Euroconstruct hasta 2027. Disponible en: https://www.wifo.ac.at/wp-content/uploads/upload-6781/mb_2025_02_03_baukonjunktur.pdf (Consultado el 23 de marzo de 2026).
- Lee, M. (2026) Liderazgo digital y cultura de la innovación como factores determinantes del rendimiento de las pymes. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/400349717_Digital_Leadership_and_Innovation_Culture_as_Determinants_of_SME_Performance (Consultado el 23 de marzo de 2026).
- Nemakhavhani, R. y Qumbisa, N. (2025) La transformación de las pymes de la construcción para la era digital: oportunidades y barreras – Una revisión sistemática de la literatura. Disponible en: <https://doi.org/10.64755/VRS9757> (Consultado el 23 de marzo de 2026).
- Nyqvist, R., Peltokorpi, A., Lavikka, R. y Ainamo, A. (2025) Construyendo la era digital: gestión de la transformación digital en el sector de la construcción. *Construction Management and Economics*, 43(4), pp. 262–283. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/01446193.2024.2416033> (Consultado el 23 de marzo de 2026).
- Odeh, I. (2025) ¿Está la construcción preparada para el futuro? Tres ideas clave sobre la transformación digital del sector. Disponible en: <https://www.weforum.org/stories/2025/07/construction-sector-digital-transformation/> (Consultado el 23 de marzo de 2026).
- RSIS International (2025) El papel del liderazgo en la transformación digital: estrategias para una implementación exitosa en las pymes. Disponible en: <https://rsisinternational.org/journals/ijrsi/articles/the-role-of-leadership-in-digital-transformation-strategies-for-successful-implementation-in-smes/> (Consultado el 23 de marzo de 2026).
- Sagala, G. H. y Óri, D. (2025) Exploración de la estrategia de transformación digital para lograr la resiliencia y la antifragilidad de las pymes: una revisión sistemática de la literatura. *Journal of Small Business & Entrepreneurship*, 37(3), pp. 495–524. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/08276331.2024.2392080> (Consultado el 23 de marzo de 2026).
- Seppänen, S., Ukko, J. y Saunila, M. (2025) Comprensión de los determinantes de la transformación digital y la digitalización de las funciones de gestión en las pymes tradicionales. *Digital Business*, 5(1). Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.digbus.2025.100106> (Consultado el 23 de marzo de 2026).
- Vararean-Cochisa, D. y Crisan, E. (2025) La transformación digital del sector de la construcción: una revisión. *IIM Ranchi Journal of Management Studies*, 4(1), pp. 3–16. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/IRJMS-04-2024-0035> (Consultado el 23 de marzo de 2026).

Westdeutscher Handwerkskammertag (2023) Innovationsdialog Handwerk in NRW Magazin n.º 1: Tecnología y dinámicas de digitalización en la artesanía.

Woodward, K. (2025) ¿La falta de seguridad psicológica os está frenando a ti y a tu equipo? Disponible en: <https://fullpotentialgroup.com/is-lack-of-psychologically-safety-holding-you-and-your-team-back/> (Consultado el 23 de marzo de 2026).

Zorrilla, M., Somohano, F. y Yebenes, J. (2025) Sobre la creación de una cultura basada en datos en las pymes. IEEE Access. Disponible en: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3638456> (Consultado el 23 de marzo de 2026).