BOLETÍN PREVENCIÓN Y BIENESTAR

GEMELOS DIGITALES



¿Qué son los gemelos digitales?

Los gemelos digitales aplicados a la salud laboral son réplicas virtuales de entornos de trabajo, procesos o trabajadores que integran datos reales y modelos computacionales para simular, predecir y optimizar condiciones de seguridad y salud.

El INSST lo define como "representación virtual de un producto o activo real que permite simular su comportamiento".

Los gemelos digitales aportan valor añadido a la prevención y a la eficiencia: optimizan procesos productivos, reducen accidentes y ausencias, mejoran condiciones ergonómicas y aumentan el bienestar del trabajador. Estas mejoras operativas contribuyen también a la competitividad de la empresa.

La normativa española de Seguridad y Salud en el Trabajo no prohíbe estas tecnologías, pero las condiciona al principio de protección de datos y a la necesidad de informar y formar a los trabajadores. Por ejemplo, es obligatorio notificar el uso de videocámaras o sensores biométricos, y garantizar la confidencialidad de la información médica.

Definiciones y tipos de gemelos digitales

Según su complejidad, puede clasificarse en tres niveles:

- Descriptivo: modelo 3D estático con información vinculada
- Informativo: aquel que incorpora datos y analíticas
- Integrado: con sensores IoT enlazados en tiempo real al activo.

También se distinguen:

- Gemelo de producto/activo: modela un equipo, máquina o instalación física, por ejemplo, un robot o un edificio.
- Gemelo de proceso: simula la interacción de varios sistemas en un proceso completo, por ejemplo, el flujo logístico o una línea de montaje. Reproduce flujos de trabajo y permite optimizar secuencias productivas.
- Gemelo humano: digitalización del trabajador, modelos biomecánicos o fisiológicos, para evaluar ergonomía, posturas y cargas.

En la práctica los sistemas combinan estos tipos. Por ejemplo, un gemelo de fábrica incluye gemelos individuales de máquinas y de procesos productivos, así como modelos virtuales de los operarios.

Tecnologías clave de los gemelos digitales

Estas tecnologías permiten un vínculo dinámico entre el mundo real y el virtual por ejemplo, en una planta industrial un gemelo integrado podría medir vibración de motores en tiempo real (IoT), analizar tendencias (Big Data) y predecir averías (IA).

IoT y sensores

Dispositivos (wearables, sensores ambientales, cámaras, etc.) recogen datos físicos en tiempo real. El IoT permite integrar sensores en el entorno laboral para monitorizar condiciones ambientales o biométricas de los trabajadores.

Big Data y analítica

Procesamiento de grandes volúmenes de datos capturados por el gemelo. La analítica predictiva identifica patrones de fallo y riesgos repetitivos.

Inteligencia Artificial (IA)

Modelos de IA que optimizan predicciones. Por ejemplo, algoritmos que detectan automáticamente riesgos ergonómicos o estresores, o que ajustan el modelo simulado a nuevas condiciones.

Modelado y simulación
Software CAD/CAE para construir el modelo 3D del activo o ambiente; herramientas de simulación (físico, ergonómico, evacuación). Se emplean entornos de realidad virtual o aumentada para sumergir al usuario en el gemelo.

BIM y gemelos de edificio
En construcciones e infraestructuras, la metodología BIM evoluciona hacia el "gemelo digital preventivo". Integrar un modelo BIM con sensores crea un gemelo digital operativo.

Redes y computación distribuida
Conectividad mediante 5G o redes industriales y computación en la nube para procesar datos en tiempo real y alojar el gemelo digital.

Beneficios operativos y en salud laboral de los gemelos digitales

- Prevención proactiva de riesgos
  Permiten simular escenarios peligrosos como incendios, colapsos o emergencias sin exponer a personas.
- Identificación temprana de peligros
  Duplicar virtualmente el entorno facilita detectar peligros como zonas de riesgo, colisiones, insuficiencias ergonómicas, etc antes de la construcción o puesta en marcha.
- Optimización de ergonomía
  Modelos de trabajadores virtuales permiten estudiar posturas y movimientos. Mejora continua y eficiencia operativa: Un gemelo actualizado con datos reales posibilita ajustar parámetros en tiempo real (distribución de tareas, pausas, herramientas) y automatizar inspecciones. Por ejemplo, si un sensor detecta exceso de ruido, el gemelo puede alertar o modificar el plan de trabajo.
- Formación inmersiva
  Realizar entrenamientos en un entorno virtual seguro como por ejemplo, simulaciones de manejo de maquinaria o rutas de evacuación mejorando la formación en prevención.
- Mejora de la toma de decisiones
  Al integrar datos de todo el sistema tanto ambientales como productivos y físicos en tiempo real, la dirección puede anticipar impactos de cambios operativos o de diseño. Esto reduce tiempos de reacción ante incidentes.
- Coordinación de actividades
  Los gemelos facilitan la planificación conjunta de varias empresas o turnos, integrando información preventiva compartida.

Riesgos y limitaciones de la implementación de gemelos digitales

- Privacidad y protección de datos personales:
  Al monitorizar al trabajador mediante datos biométricos, de salud o rendimiento, hay que respetar la LOPD/GDPR. El tratamiento de datos sensibles requiere consentimiento o justificación preventiva debido al riesgo de vigilancia excesiva.
- Seguridad informática
  La conectividad extiende la superficie de ataques. Un atacante podría manipular el gemelo o los sensores. Se deben aplicar medidas de ciberseguridad (encriptación, autenticación, firewall industrial) y cumplir regulaciones como NIS2 si aplica.
- Sesgos y fiabilidad del modelo
  Un gemelo es tan bueno como los datos y supuestos que contiene. Datos incompletos o mal calibrados generan predicciones erróneas. Hay que validar continuamente con la realidad y especialistas humanos.
- Interoperabilidad y estándares
  La fragmentación tecnológica puede impedir la integración de distintos sistemas y sensores. Se requieren estándares y plataformas comunes de datos para asegurar que gemelos de diversos fabricantes hablen el mismo "lenguaje digital".
- Limitaciones técnicas
  Algunos entornos industriales complejos como entornos explosivos o químicos pueden ser difíciles de simular con precisión.
- Costo y resistencia al cambio
  Aunque existen soluciones de bajo costo, el despliegue inicial de sensores y plataformas puede resultar elevado para algunas empresas. Asimismo, el personal de PRL y operarios deben formarse en el uso de estas nuevas herramientas.

Requisitos técnicos y organizativos para la implantación de un gemelo digital el prl

- Infraestructura de sensores y datos
  Instalar sensores (IoT industriales, cámaras de profundidad, wearables, medidores ambientales, etc.) que cubran los puntos críticos identificados. Asegurar conectividad y plataformas de captura de datos en tiempo real.
- Modelo digital inicial
  Contar con un modelo CAD 3D o BIM del activo o proceso, enriquecido con información relevante como planos, manuales o registros de seguridad. Este modelo base debe incluir geometría, física básica y datos históricos.
- Plataforma de simulación y análisis
  Software para ejecutar el gemelo: simuladores de dinámica de fluidos, análisis ergonómico, algoritmos de Machine Learning, paneles de visualización 3D. Debe integrarse con bases de datos (Big Data) y herramientas de IA.
- Seguridad y privacidad integradas
  Desde el diseño se deben implementar medidas de ciberseguridad encriptado de datos, VPNs, gestión de identidades y controles de acceso. Los datos personales deben anonimizarse o limitarse solo a lo imprescindible, siguiendo procedimientos de privacidad por el diseño.
- Procesos organizativos

Establecer protocolos de uso del gemelo con la definición de roles, quién maneja los simuladores, quién interpreta los resultados, frecuencia de actualizaciones de datos, coordinación con el equipo de PRL y los operarios. Se debe involucrar a los trabajadores desde el inicio con un enfoque participativo para validar el gemelo y las medidas derivadas de él.

- Formación y cambio cultural
  Capacitar a responsables de PRL, ingenieros y operarios en el uso de las nuevas herramienta.
- Interoperabilidad y estándares
  Adoptar estándares abiertos que aseguren compatibilidad entre equipos de distinto proveedor. Mantener el gemelo sincronizado con la planta real mediante protocolos de intercambio de datos ágiles.

Indicadores cualitativos y cuantitativos para medir la efectividad de un gemelo digital en prevención

Seguridad y salud laboral

- Tasa de accidentes/incidentes: comparación antes y después de implementar el gemelo.
- Índices ergonómicos: reducción de puntuación de riesgo en evaluaciones ergonómicas (e.g. RULA, OWAS).
- Nivel de riesgo en simulaciones: número de peligros identificados y mitigados en el gemelo (p.ej. obstáculos eliminados, distancias de seguridad computadas).
- Cumplimiento de procedimientos: aumento en porcentaje de tareas seguras (por e.g., uso de EPI monitoreado con sensores).

Operativos/Procesales

- Eficiencia productiva: mejora en tiempos de ciclo, tiempos de inactividad evitados gracias al gemelo (p. ej. detección temprana de fallos).
- Indicadores ambientales: estabilización de parámetros (ruido, vibración, calidad del aire) dentro de límites seguros, medidos por sensores.
- Formación: número de trabajadores capacitados en entorno virtual y feedback de satisfacción/eficacia (tests pre/post).
- Uso del gemelo: número de consultas al gemelo y simulaciones realizadas por el equipo preventivo.

Técnicos

- Precisión del modelo: desviación entre predicciones del gemelo y datos reales (validation error).
- Latencia y disponibilidad: tiempo de respuesta del sistema gemelo y porcentaje de uptime de los sensores/red.
- Integración de datos: porcentaje de variables críticas del proceso incorporadas en el gemelo.

Financieros

- Retorno de inversión (ROI): cálculo de ahorro vinculado a prevención de accidentes o interrupciones versus coste de implantación.
- Coste por trabajador protegido: métricas de coste-beneficio distribuidas entre usuarios.

CEOE Castilla y León
Calle Florencia 8, 47007, Valladolid

Este e-mail se envió a mlozano@ceoecyl.es

Lo recibiste porque estás suscrito a nuestra newsletter.

Ver en navegador| Cancelar suscripción

Enviado con Brevo