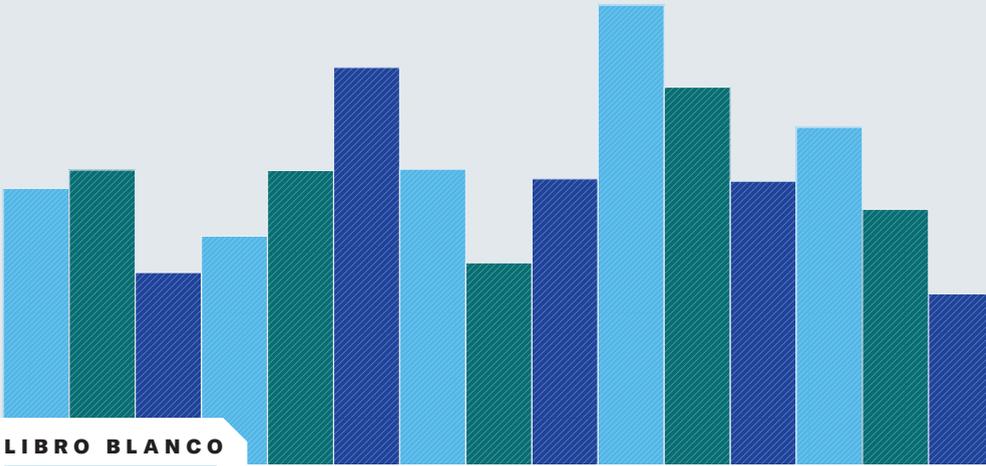




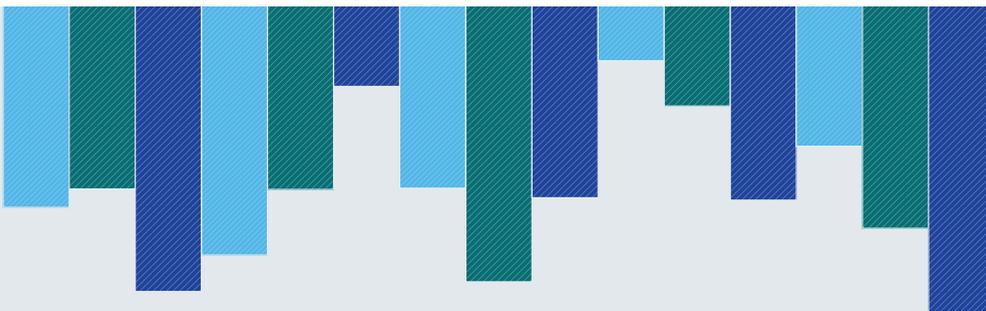
**Harvard  
Business  
Review**

ANALYTIC SERVICES



LIBRO BLANCO

# Derribar las barreras para lograr proyectos de fábrica más colaborativos



Patrocinado por

 **AUTODESK**

## PERSPECTIVA DEL PATROCINADOR

Independientemente de si estamos hablando de los sectores de empresa a empresa (B2B) o de empresa a consumidor (B2C), las expectativas de los clientes en términos de individualización, funcionalidad y sostenibilidad de los productos y servicios están aumentando enormemente.

Para afrontar el ritmo acelerado y la complejidad añadida, muchas empresas ya han adaptado las formas en que diseñan, desarrollan y construyen sus productos, pensando en ellos en términos de ciclos de vida y, a menudo, adoptando métodos de desarrollo ágiles, ingeniería concurrente e ingeniería de sistemas.

Sorprendentemente, las fábricas a menudo se siguen diseñando y construyendo de una manera muy tradicional, al igual que el manejo de datos durante la operación y el mantenimiento: área por área, disciplina por disciplina, silo de datos por silo de datos.

El aumento de las expectativas de los clientes lleva inevitablemente a tamaños de lote más pequeños y cambios frecuentes, lo que significa que es más importante que nunca que las operaciones de fabricación sean adaptables y elásticas.

Creemos que los pasos que ya se están dando en el diseño y la ingeniería de productos en términos de integración y colaboración también están liderando las operaciones de fabricación. Los dominios, como la infraestructura de fábrica y la información de la edificación, deben integrarse con los datos del sistema de producción para liberar todo el potencial de un gemelo digital exhaustivo de la fábrica. Además, se requiere la reutilización de los datos a lo largo de todo el ciclo de vida de producción, incluso si (o precisamente porque) hay diferentes partes interesadas involucradas en diferentes etapas, para evitar redundancias y tareas que no añaden valor.

La digitalización está permitiendo a los fabricantes introducir sus fábricas en esta nueva era. Esta investigación de Harvard Business Review Analytic Services proporciona algunos conocimientos útiles sobre el estado actual del sector, así como algunas directrices sobre cómo prepararse para un futuro exitoso de sus operaciones de fabricación existentes o planificadas utilizando modelos de fábrica integrados. Animo a los lectores a considerar los ejemplos de los líderes del sector presentados en este informe a medida que responden a los entornos cambiantes del mercado.



**Srinath Jonnalagadda**  
**Vicepresidente, Estrategia industrial, Diseño y Fabricación**  
**Autodesk**

---

# Derribar las barreras para lograr proyectos de fábrica más colaborativos

Las fábricas cambian constantemente, ya que los nuevos productos, las expectativas de los clientes y las presiones competitivas obligan a los fabricantes a reorganizar repetidamente sus operaciones actuales mediante reacondicionamientos o construcciones en nuevos emplazamientos. A medida que llevan a cabo estos proyectos, los objetivos tradicionales de llegar a tiempo y dentro del presupuesto se complican cada vez más debido a los nuevos objetivos, desde los propósitos de sostenibilidad hasta el uso más eficiente de la mano de obra, pasando por los requisitos de la Industria 4.0.

La complejidad de estos proyectos está aumentando, pero los procesos utilizados para planificar y gestionar los proyectos de fábrica no han evolucionado al mismo ritmo. Los proyectos de fábrica implican a una amplia gama de equipos del propio fabricante y de sus socios de diseño y construcción, todos ellos centrados en la planificación de edificación, la ingeniería de producción y las operaciones en curso. Con demasiada frecuencia, estos equipos (y las herramientas y los datos que utilizan para completar su trabajo) operan de forma más independiente que colaborativa, lo que conduce a aumentos de costes, sobrecostes y retrasos.

“La construcción y la ingeniería de planta son dos mundos separados que no han tenido que estar realmente bien coordinados hasta ahora”, afirma Frank Breitenbach, experto técnico sénior en metodología de planificación, fábrica inteligente, para EDAG Production Solutions, empresa proveedora de servicios de ingeniería de la industria automotriz radicada en Fulda, en Alemania. “Para que estos mundos crezcan juntos de forma eficiente, casi se requiere un cambio de paradigma en la mayoría de las empresas”.

Se adoptará un enfoque bien coordinado y multidisciplinar de los proyectos de diseño y construcción de fábricas para cerrar estas brechas y garantizar que los equipos de edificación, de operaciones y de proyectos mecánicos, eléctricos y de saneamiento colaboren estrechamente para minimizar los retrasos, los costes y los errores de comunicación, a la vez que se maximizan los objetivos empresariales relacionados con el proyecto, operativos y a largo plazo. Para llegar ahí, los fabricantes y las empresas de construcción industrial están

## ASPECTOS DESTACADOS

Cada vez más solicitudes de propuestas para proyectos de construcción de fábricas **incluyen expectativas en torno a la sostenibilidad, la digitalización y el deseo de fábricas inteligentes** que respalden los conceptos de la Industria 4.0.

A pesar de estos requisitos cambiantes, **los procesos y flujos de trabajo utilizados para planificar e implementar una nueva construcción o reacondicionamiento de fábrica** no siempre han estado al día.

La tecnología está demostrando ser el factor clave para ayudar a los fabricantes y a sus socios de planificación y producción **a derribar compartimentos estancos en cuanto a herramientas, datos y colaboración** en su búsqueda de una forma cada vez más eficiente y fluida de planificar y construir una fábrica.

trabajando para adoptar nuevos paradigmas de planificación y flujo de trabajo, hacer un uso más inteligente de los datos y aprovechar tecnologías de flujo de trabajo más colaborativas, que tendrán un impacto en el edificio mucho después de que se complete la construcción. Si se logra realizar su visión, las fábricas futuras serán mucho más cambiantes y resistentes, capaces de ajustarse ágilmente a los cambios del mercado a la vez que minimizan sus propios costes de mantenimiento y optimizan su utilidad.

“Para tener fábricas altamente eficientes, se necesitan datos en tiempo real para tomar las decisiones correctas dentro del contexto adecuado”, dice Maximilian Viessmann, director ejecutivo de Viessmann Group, empresa fabricante de soluciones de calefacción, refrigeración y climatización radicada en Allendorf (Alemania). “Podemos ampliar nuestra posición en el mercado cuando podemos actuar rápidamente, por nuestros socios y usuarios. La Industria 4.0 es el factor que permite esta velocidad y, en consecuencia, facilita nuestro futuro”.

### Nuevo mundo, nuevas presiones

Las fábricas siempre han tenido que evolucionar, adaptando instalaciones, líneas de producción, procesos de desarrollo y operaciones para satisfacer las demandas del momento. Entre los factores impulsores típicos de estas nuevas construcciones o reacondicionamientos se incluyen los lanzamientos de nuevos productos, la necesidad de mejorar la calidad del producto o la eficiencia de la producción, los cambios en la demanda, la mejora continua o la sustitución de equipamiento.

También se pueden contar entre estos factores las tendencias específicas de la industria, como la necesidad de tamaños de lote más pequeños o derivados de un producto base, un aumento de la personalización masiva, un cambio de combustibles fósiles a fuentes de energía más sostenibles, o la necesidad de acomodar la escasez de material, producir más cerca del mercado o minimizar los requisitos de mano de obra en caso de escasez. Según el estudio de junio de 2020 de McKinsey & Co., “The Next Normal in Construction” (La nueva normalidad en construcción), el 87 % de los encuestados cita la escasez de mano de obra cualificada como el mayor impacto en el sector. Pero en 10 años, más del 75 % cree que la sostenibilidad, las normativas de seguridad en el lugar de trabajo y las estructuras más flexibles y digitalmente eficientes impactarán al sector a gran escala. **FIGURA 1**

Además de esos factores impulsores, hay otro conjunto de requisitos que imponen exigencias adicionales a los equipos de diseño. Cada vez más solicitudes de propuestas (Request For Proposals, RFP) para proyectos de construcción de fábricas incluyen expectativas en torno a la sostenibilidad, la digitalización y el deseo de fábricas inteligentes que respalden los conceptos de la Industria 4.0. Los fabricantes también quieren completar los proyectos más rápido que nunca, especialmente en los reacondicionamientos; minimizar el tiempo de inactividad y acelerar el plazo de lanzamiento se han convertido en necesidades competitivas.

“La sostenibilidad ha tomado mucho más protagonismo del que solía tener”, dice Rupert Hoecherl, director general y socio de io-consultants, una empresa de consultoría de

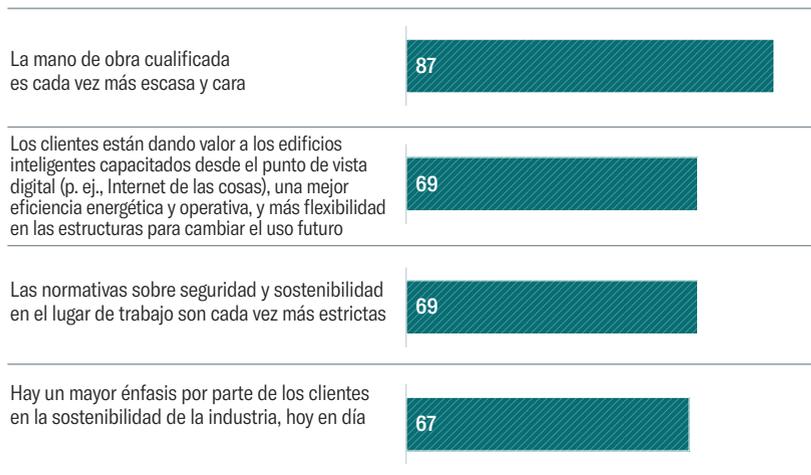
FIGURA 1

### Los factores del mercado complican los proyectos de construcción

La escasez de mano de obra, los edificios inteligentes y las normativas de seguridad y sostenibilidad son los principales temas

#### El mayor impacto en el sector de la construcción

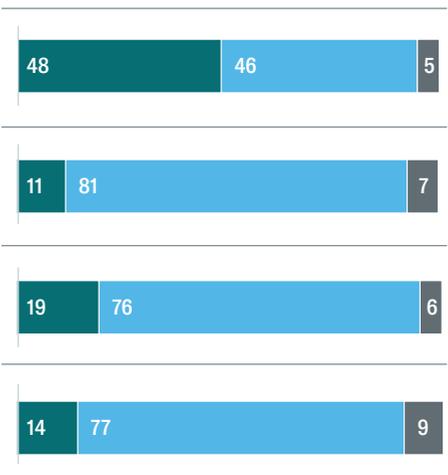
Porcentaje de encuestados



#### Cuándo este cambio en las características del mercado afectará a gran escala al porcentaje de encuestados

porcentaje de encuestados

■ En el plazo de 1 año ■ 1-10 años ■ 10-20 años



Fuente: McKinsey & Co., junio de 2020

gestión en Bethlehem, Pensilvania (EE. UU.), cuyos proyectos incluyen servicios integrados de consultoría, diseño y planificación para la producción. “Era más bien un enfoque voluntario en años anteriores. Ahora se está volviendo mucho más definido e institucionalizado y, en algunas áreas, es un requisito normativo”.

Además, un número creciente de empresas manufactureras citan la necesidad de digitalización, fábricas inteligentes o conceptos de la Industria 4.0. Los clientes vienen con definiciones variadas de lo que significan esos términos, que deben ponerse en orden en las etapas iniciales del proyecto, dice Breitenbach de EDAG. Estos requisitos de la Industria 4.0 incorporan cada vez más preocupaciones sobre sostenibilidad, añade.

“La Industria 4.0 crea en última instancia redes horizontales y verticales coherentes dentro de mi sistema de producción y mucho más allá. Esto (y esto es nuevo en mi forma de pensar) ha incluido recientemente al edificio. Después de todo, es el edificio el que abastece a mi planta de espacio, volumen y materiales operativos. El edificio tiene que hacer frente a mis emisiones y, a su vez, también tiene influencias medioambientales en mis máquinas”.

La necesidad de velocidad se ha visto agravada por los inesperados desafíos del mercado y la cadena de suministro, más recientemente con la pandemia. “Hemos visto una fluctuación extrema durante la pandemia, todo ello con restricciones regionales o internacionales. Esta [fluctuación] ha hecho que sea particularmente difícil identificar el momento adecuado para pausar la producción para los proyectos de reacondicionamiento”, dice Viessmann de Viessmann Group.

## Brechas en el proceso de planificación de fábrica

A pesar de la evolución de estos requisitos, los procesos y flujos de trabajo utilizados para planificar e implementar una nueva construcción o reacondicionamiento de fábrica no siempre han seguido el mismo ritmo. El hecho es que una fábrica es, por definición, un sistema complejo, y cada vez más, gracias a los avances en automatización y tecnología. La confluencia de la creciente complejidad y la desconexión de los flujos de trabajo también hace que la coordinación de su construcción sea cada vez más difícil.

“La fábrica no está compuesta solo por un edificio”, afirma Robert Ostermann, diseñador de fábrica de Magna Steyr, empresa fabricante de automóviles radicada en Graz, Austria. “Hay muchos sistemas de transporte, muchas estructuras de acero, maquinaria, etc. Una fábrica es más que un proceso de BIM [building information modeling (modelado de información de construcción)], y coordinar o mantener todo este espectro digital aún no es un proceso habitual”.

Los enfoques tradicionales suelen ser en gran medida secuenciales, es decir, un equipo completa el trabajo antes de entregar el producto del trabajo al siguiente equipo. Los datos y las herramientas que utilizan a menudo también son independientes, lo que requiere costosas conversiones de formato y una gran cantidad de correos electrónicos para gestionar cambios y seguimientos. Las brechas de comunicación se vuelven inevitables, especialmente en la transferencia de un paso al siguiente.

El motivo de la brecha en las comunicaciones varía. Para las pequeñas y medianas empresas, a menudo pasan de 10 a 15 años



“Lo que ha hecho el mundo digital es permitir que las personas repliquen información, pero es una réplica sin gestión, lo que significa que pierden la confianza en la información”, afirma Brian Glancy, director de estrategia de BIM para Kingspan Group.

entre nuevos proyectos de fábrica, por lo que sus procesos de planificación pueden estar desactualizados o no existir, dice Matthias Dannapfel, ingeniero jefe de planificación de fábricas en la Universidad Técnica de Aquisgrán, en Alemania. Las empresas a menudo “tienen algunos problemas respecto a cómo aplicar los requisitos a largo plazo y cómo traducirlos a estructuras de fábrica. Debido al entorno dinámico del mercado, tienen que abandonar las viejas suposiciones. Necesitan cuestionar su forma de pensar y su visión de las fábricas”.

Los problemas no son solo internos. Los proyectos de fábrica requieren coordinación entre los equipos internos y externos, a menudo divididos entre aquellos que trabajan en el edificio en sí y aquellos centrados en los procesos y equipamientos que van a ir dentro. Por lo general, cada una de ellas aporta sus propias herramientas y almacenes de datos a la tarea.

“Todo el mundo utiliza diferentes herramientas de software en las que no tenemos interfaces claras para poder suministrar o proporcionar información de una a otra”, dice Dannapfel. “Por lo tanto, tenemos muchas pérdidas de información mientras pasamos re trabajo o comunicación de forma manual para asegurarnos de que toda la información que queremos tratar de aportar se transmita al siguiente equipo y a los equipos que siguen. Se trata de un proceso altamente ineficiente”.

“Lo que podemos mejorar es la comunicación en el proceso, la coordinación del modelo y cómo evoluciona el diseño de la fábrica”, añade Ostermann de Magna Steyr. “La comunicación debe tener lugar directamente en el modelo, no estar separada en diferentes sistemas que no se comunican bien”.

Uno de los enfoques para abordar los obstáculos de la comunicación ha sido la conversión de datos dispares para que puedan recopilarse en un único entorno de diseño asistido por ordenador (computer-aided design, CAD), pero este paso es costoso. Las comunicaciones y las solicitudes de cambio tienden a producirse fuera de este entorno, lo que provoca retrasos y errores, y los cambios en un sistema no están disponibles automáticamente en otros. Incluso los esfuerzos para practicar la ingeniería simultánea de procesos de planificación dispares se ven truncados cuando las comunicaciones se rompen.

Aunque la mayoría de las fábricas se han digitalizado en gran medida desde la década de 1990, gran parte de los datos se han quedado sin usar, y los intentos de crear un único estándar



“Solo los equipos interdisciplinarios pueden gestionar la complejidad y los desafíos de reunir todos los procesos operativos sin fisuras. El control periódico de las cifras clave de toda la cadena de valor y las simulaciones frecuentes de los procesos garantizan que alcancemos las métricas necesarias y cumplamos los objetivos de nuestro proyecto”, afirma Maximilian Viessmann, director ejecutivo de Viessmann Group.

de datos entre las herramientas utilizadas para planificar, construir y mantenerlos han avanzado lentamente.

“Lo que ha hecho la digitalización es permitir a la gente replicar la información, pero es una réplica sin gestión, lo que significa que pierden la confianza en la información”, dice Brian Glancy, director de estrategia de BIM para Kingspan Group, empresa fabricante de materiales de construcción de Kingscourt (Irlanda). “Por eso intentamos garantizar los procedimientos de gobernanza en torno a la información”.

Siguiendo un patrón conocido, algunas empresas tecnológicas que generan datos de diseño como parte de sus conjuntos de herramientas se han resistido a los intentos de crear los estándares abiertos que apoyan otros desarrolladores. “Creo que este es uno de los mayores problemas. Y es un problema que tenemos que resolver cuando hablamos de una visión integral de la propia fábrica, y cuando queremos obtener todos los beneficios que ofrecen BIM y la fábrica digital”, dice Breitenbach.

Según un artículo académico elaborado por la Universidad Técnica de Aquisgrán titulado “Un enfoque para el análisis de las causas de los retrasos en los proyectos de construcción industrial mediante la planificación y la computación estadística”, BIM está diseñado específicamente para abordar las desconexiones entre los procesos de planificación de edificación y de planificación de construcción, pero se utiliza mucho más en la construcción de viviendas y de edificios públicos que en la planificación de fábricas. Mediante la investigación para respaldar el artículo se descubrió que “hay una escasa implementación en los proyectos de planificación de fábrica debido a (1) falta de especificaciones de nivel de madurez y (2) falta de estándares de gestión de datos”.

Breitenbach afirma que no todos los desafíos son técnicos. Junto con el cambio a más intercambio de datos y la colaboración que ello permite, los distintos equipos también deben comprometerse con nuevas formas de trabajar. “Necesitamos una cultura de reuniones y una estructura de reuniones en nuestros proyectos, reuniones regulares, para que las personas se sientan motivadas a hablar entre sí e intercambiar esa información”.

## Los costes de las brechas en la planificación

Los fallos en el proceso de planificación y construcción de la fábrica están teniendo un coste para los fabricantes en múltiples dimensiones, lo que puede afectar no solo al proyecto en sí, sino también a las operaciones y al mantenimiento de la fábrica a largo plazo.

“Al fin y al cabo, los impactos siempre están en algún punto entre el alcance, el tiempo y los presupuestos”, afirma Hoecherl, de io-consultants. “Si se pasa algo por alto, si hay que hacer ajustes más adelante en el proyecto, eso tiene un impacto en el calendario y, lo más probable, es que también lo tenga en el presupuesto. Una reacción puede ser replantearse el alcance, para intentar mitigar el impacto. Los fallos significativos o de diseño pueden reducir inadvertidamente la capacidad instalada y limitar potencialmente la usabilidad y la longevidad del edificio”.

Las compensaciones en la cantidad o el tipo de equipamiento o tecnología que un proyecto pudiera incluir pueden significar contratar más mano de obra o perder beneficios técnicos, añade, pero afortunadamente, la calidad del producto en sí normalmente no se ve afectada.

Otros impactos pueden incluir fallos en la integración de proveedores, la necesidad de rediseñar más frecuentemente y pérdidas de eficiencia.

Incluso un proyecto de construcción finalizado con éxito, producido de forma tradicional, no cumple los objetivos actuales de diseño de la fábrica en cuanto a su impacto en la vida útil del edificio. Sin la ventaja de conceptos más nuevos, como el modelado, el establecimiento de un plan visual sobre cómo se creará una fábrica y su equipo de producción, y los gemelos digitales, creando una réplica digital exacta de un activo físico, es más difícil llevar un registro digital de las decisiones y los detalles tenidos en cuenta en las elecciones de diseño. La falta de datos hace que las modificaciones futuras sean más costosas y difíciles.

## La visión de la fábrica integrada

El concepto de un proceso de diseño de fábrica totalmente integrado se basa en la visión de las propias fábricas futuras. La forma en que se crean las fábricas desempeña un papel cada vez mayor en su capacidad de cumplir los objetivos, incluidos los relacionados con la flexibilidad, la sostenibilidad y la inteligencia.

“Es absolutamente necesario que tengamos fábricas altamente eficientes y flexibles en todos los aspectos: sostenibilidad, productividad e infraestructura global. Esta eficiencia y flexibilidad son la base de nuestra resiliencia”, dice Viessmann. La consecución de esos aspectos está relacionada directamente con el proceso de planificación.

“El impacto de la planificación de fábrica integrada y colaborativa es inmenso”, continúa Viessmann. “Solo los equipos interdisciplinarios pueden gestionar la complejidad y los desafíos de reunir todos los procesos operativos sin

problemas. El control periódico de las cifras clave de toda la cadena de valor y las simulaciones frecuentes de los procesos garantizan que se cumplan las métricas necesarias y los objetivos de nuestro proyecto”.

Una representación digital de la fábrica también mitiga el riesgo de posibles problemas de planificación, como dos tuberías que interferirán entre sí, o la falta de corrección de datos geométricos sobre una pieza de maquinaria que son esenciales para diseñar correctamente el espacio que ocupará. Atajar estos problemas mediante la colaboración entre equipos en una etapa temprana ahorra miles de dólares en la mitigación en el sitio que se produciría si el problema solo apareciera en la etapa de construcción. Además del proceso de construcción en sí mismo, la perfecta integración y digitalización de los procesos de diseño integrado también puede mejorar el arranque de las operaciones y el uso continuo de la fábrica.

“Estamos empezando a explorar la idea de que todo exista digitalmente antes de que se pueda crear el equivalente físico”, dice Glancy de Kingspan. “Cuando se tiene una representación digital, con el avance de la realidad aumentada, la realidad virtual, etc., podemos empezar a caminar por estos edificios, incluso podemos formar a los operadores de equipamientos antes de [ponerlos en] el sitio físico. Esa [capacidad] supondría ir hacia arriba en términos de mejorar la puesta en marcha, mejorar la formación y mejorar la calidad”.

Esos beneficios continúan siempre que se actualice un modelo digital a medida que la fábrica cambia con el tiempo, convirtiéndose en un registro viviente de la historia de la instalación. Un modelo totalmente realizado, como un gemelo digital, puede impulsar todo, desde el fomento del mantenimiento predictivo hasta la aceleración de los reacondicionamientos y la simulación del impacto de las modificaciones propuestas para analizar el rendimiento de los materiales y el diseño en sí.

“Creo que la gente va a atribuir más valor a la comprensión de más aspectos de un edificio en el futuro de lo que lo hacen ahora”, dice Glancy.

## Agilización del proceso de diseño de fábrica

Aunque la visión de la fábrica del futuro ha evolucionado, sigue existiendo una brecha entre ese estado final y los procesos actuales para planificar y ejecutar el diseño y la construcción de la fábrica. Los fabricantes han diseñado muchas soluciones a lo largo de los años para integrar y agilizar el proceso, por lo que ahora muchos pasos del proceso de planificación están automatizados, asistidos por ordenador, digitalizados y verificados. Estos avances sirven como base para las innovaciones actuales, incluso si estaban demasiado por delante de las capacidades técnicas para trabajar de forma efectiva en el momento en que se introdujeron.

“En los años 90, se hablaba sobre la fabricación integrada por ordenador (Computer-Integrated Manufacturing, CIM). La idea era tener un modelo 3D, un modelo CAD, y llevarlo directamente a la máquina que produciría las piezas: una idea muy buena. Pero en los años 90 ese software no llegaba a ese grado de madurez”, explica Breitenbach. “Empezamos con la fábrica digital en los años 90. Una fábrica digital es una visión integral de la fábrica que combina productos, procesos de fabricación y personas, máquinas, robots y otros recursos que le permiten operar”.

En la actualidad, el software, los datos y la tecnología de las comunicaciones se han puesto al día en cuanto a los conceptos. Los expertos esperan procesos de modelado de información de edificación, gemelos digitales, cámaras y sensores, inteligencia artificial (IA) y aprendizaje automático (Machine Learning, ML), e incluso realidad aumentada y virtual para apoyar un proceso de diseño de fábrica integrado y colaborativo en el futuro. Cada vez más, las empresas podrán coordinar las actividades de diseño en tiempo real.

El documento de la Universidad Técnica de Aquisgrán define BIM como una metodología que integra a todas las partes interesadas de un proyecto de construcción mediante la gestión de una base de datos compartida relacionada con el edificio, para facilitar la planificación, la construcción y la gestión de las instalaciones en funcionamiento.

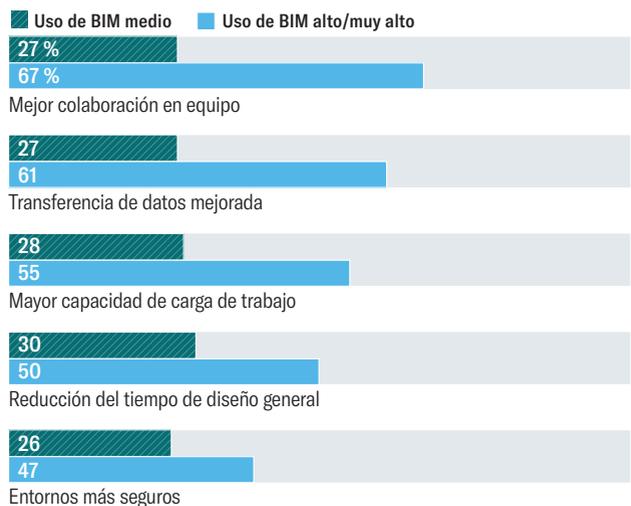
Según un estudio de Dodge Data & Analytics, los diseñadores cuyo trabajo incluye un uso alto o muy alto de BIM informaron de que experimentaron beneficios a tasas mucho más altas que aquellos con un uso medio en todo, desde una mejor colaboración en equipo (67 % frente al 27 %) hasta una mejor transferencia de datos (61 % frente al 27 %) y una mayor capacidad de carga de trabajo (55 % frente al 28 %). **FIGURA 2**

Pero algunos ven BIM como un proceso que no se extiende a la producción. “Tenemos procesos BIM, pero el proceso BIM comienza y termina con el edificio en sí, y en Magna tenemos fábricas”, afirma Ostermann, de Magna Steyr. “Lo que BIM hace por el edificio en sí mismo sería algo que queremos intentar conseguir para todo el diseño de la fábrica”.

FIGURA 2

### La colaboración encabeza los beneficios de diseño de BIM

Los diseñadores que utilizan el modelado de información de construcción a niveles altos y muy altos reportan los mayores beneficios



Fuente: Datos y análisis de Dodge, 2021



“El gemelo digital es el núcleo del cambio para la industria y BIM, el proceso de cambio. Si los utilizamos para entregar un proyecto perfecto digitalmente, podemos replicar eso físicamente”, dice Glancy de Kingspan.

Por tanto, lo que se necesita es una forma de ampliar las ventajas de BIM a todo el proyecto, integrando la planificación del propio edificio y la maquinaria y los equipamientos que se introducirán en él.

### Introducir el modelo de fábrica integrado

Los gemelos digitales y los modelos de fábrica 3D han surgido como valiosas herramientas para ayudar a evolucionar desde el estado actual del diseño de fábrica hasta un proceso de diseño totalmente integrado. Según Juniper Research,<sup>1</sup> la fabricación será el mayor sector para la implementación de gemelos digitales en 2021, lo que representa el 34 % del gasto total en tecnología.

El término “gemelo digital” ha asumido una amplia gama de definiciones en toda la industria manufacturera; lo que algunos denominarían un gemelo digital, por ejemplo, otros lo podrían describir como un modelo avanzado/3D. El Digital Twin Consortium reunió a expertos para definir el término.<sup>2</sup> Su definición describe un gemelo digital como una representación virtual de una entidad y/o proceso del mundo real, sincronizado con una frecuencia y fidelidad especificadas. El gemelo digital utiliza datos históricos y en tiempo real para representar el pasado y el presente, y luego simula los futuros previstos, que se inspiran en los resultados deseados y a menudo están adaptados a casos de uso específicos. Un gemelo digital está impulsado por la integración, basado en datos, guiado por el conocimiento del dominio e implementado en sistemas de TI/TO.

Los expertos creen que los gemelos digitales tienen el potencial de transformar los proyectos empresariales y de fábrica acelerando la comprensión integral, la optimización en la toma de decisiones y la efectividad de las acciones.

Según la investigación de McKinsey & Co., “las empresas pueden mejorar la eficiencia e integrar la fase de diseño en el resto de la cadena de valor mediante el uso del modelado de información de edificios (BIM) para crear un modelo tridimensional completo (un “gemelo digital”), y añadir capas adicionales como el calendario y el coste, de forma temprana en el proyecto, en lugar de terminar el diseño mientras la construcción ya está en marcha”.<sup>3</sup> McKinsey afirma que el uso del BIM y los gemelos digitales cambiará significativamente los riesgos y la secuencia de la toma de decisiones que tiene lugar durante los proyectos de construcción, y pondrá en tela de juicio los modelos tradicionales de ingeniería, adquisición y construcción (Engineering, Procurement and Construction, EPC).

Con un modelo tan avanzado para un diseño de fábrica en proceso, las partes interesadas pueden navegar y ver la estructura en 2D y 3D desde cualquier ángulo, desglosar visualmente para ver características específicas, acceder a las especificaciones relacionadas con cualquier elemento

determinado, rastrear el historial de los cambios realizados en un elemento determinado y mucho más.

Los diseñadores de fábricas de io-consultants están “muy emocionados por ser más instantáneos en su proceso de toma de decisiones y poder abordar escenarios hipotéticos en distintas etapas del proceso de diseño”, dice Hoecherl.

En un gemelo digital “de verdad”, los sensores integrados en la propia fábrica recogen datos de forma continua para garantizar que siempre esté al día con el edificio físico, lo que permite casos de uso postconstrucción. Otros casos de uso continuos de gemelos digitales en funcionamiento en fábrica incluyen comprender qué espacios podrían verse afectados por el fallo del equipamiento y comparar el rendimiento real de los activos y sistemas con el que está previsto. Esta información puede ayudar a predecir eventos para mejorar la disponibilidad y tomar decisiones fundadas para maximizar el retorno de la inversión.

Viessmann dice que su empresa está utilizando un gemelo digital para mejorar las comunicaciones y la colaboración durante las fases de planificación, diseño y construcción de un nuevo centro de producción de bombas de calor en Legnica, en Polonia. Ver la distribución real de la fábrica ayuda a la empresa a identificar y resolver conflictos relacionados con el uso del espacio, los cuellos de botella y los posibles “atascos” internos en el mundo digital durante las primeras fases del proyecto, y sin los altos costes o riesgos que se producen si estos se descubren más tarde. También lo utilizan para supervisar continuamente el progreso de la edificación y el cumplimiento de los planes, sin esfuerzo adicional.

“Todos planificamos sobre la misma base, con el mismo estatus acordado, sin conflictos de versiones de ningún participante como ingeniería industrial, arquitectos, planificadores de salud y seguridad medioambientales y todos los diversos departamentos de producción que podrían conducir a costosos malentendidos, información errónea o interpretaciones erróneas”, dice Viessmann.

“El gemelo digital es el núcleo del cambio para la industria y BIM—el proceso de cambio”, explica Glancy. “Si los utilizamos para entregar un proyecto perfecto digitalmente, podemos replicar eso físicamente”. Dice que su empresa ha utilizado gemelos digitales en un enfoque de “modelo a fabricación”, creando un gemelo digital que se puede fabricar tan parecido como sea posible de un modelo tal y como está construido para solucionar los detalles propuestos, como el acero estructural que puede afectar al revestimiento/envoltura o una máquina colocada donde se planifica un pilar.

Los gemelos digitales y los modelos de fábrica 3D también apoyan el modelado de fábrica integrado, reduciendo el tiempo de inactividad necesario para los proyectos de reacondicionamiento y facilitando una mejor colaboración entre los equipos, integrando las vistas de diferentes disciplinas de planificación para apoyar los objetivos generales, en lugar de optimizar desde un único punto de vista. Durante el proceso

de edificación, un gemelo digital puede simular secuencias de construcción para acelerar la instalación y reducir los órdenes de cambio. Otro caso de uso valioso es impulsar una integración fácil y rápida del proveedor al permitir una integración estructurada de cualquier proveedor a lo largo de todo el ciclo de vida de la fábrica, desde la planificación hasta la operación. Al reducir los residuos y optimizar en torno a la eficiencia, la fiabilidad, la sostenibilidad y los objetivos relacionados, los expertos esperan que los gemelos digitales mejoren radicalmente la planificación y las operaciones de la fábrica.

“Por un lado, estos métodos y herramientas me ayudan en la fase de ingeniería a crear una fábrica o a realizar cambios en el sistema de producción”, dice Breitenbach de EDAG. “BIM y la fábrica digital mapean las estructuras, el producto-proceso-recurso, y el gemelo digital me asegura que puedo comprobar con seguridad los escenarios con antelación. En la fase de funcionamiento, el gemelo me ayuda a registrar y evaluar los datos de funcionamiento. Las aplicaciones de inteligencia artificial me ofrecen entonces la posibilidad de actuar de forma proactiva: por ejemplo, medidas de calidad o de mantenimiento”.

BIM y los gemelos digitales “son facilitadores tecnológicos para nosotros, pero primero tenemos que diseñar los procesos, los flujos de información y las responsabilidades”, añade Dannapfel, de la Universidad Técnica de Aquisgrán. “Si lo hemos hecho, [estas tecnologías] pueden mostrar su verdadero poder, porque entonces tenemos esta planificación basada en el modelo. Tenemos la única fuente de verdad con la que podemos planificar”. La naturaleza visual de herramientas como los modelos de fábrica 3D y los gemelos digitales promete enriquecer el proceso colaborativo.

“Somos personas visuales, utilizamos la tecnología para demostrar las cosas y permitir que las personas comprendan las bases, las relaciones y los diseños de una forma mucho más clara. Creo que va a ser muy importante en términos de comprensión de los resultados”, dice Glancy. “Cuando se puede caminar por un gemelo digital en un entorno virtual, es más fácil tener una conversación sobre qué va, dónde, y por qué debería ir ahí. Porque la mitad de la batalla, en realidad, consiste en ayudar a alguien a entender el problema. Ese tipo de experiencia inmersiva mejorará la comunicación con las partes interesadas”.

Una tecnología relacionada y complementaria a los gemelos digitales y a los modelos de fábrica en 3D es el diseño generativo, que también se está abriendo camino en procesos de diseño de fábricas más eficientes y optimizados. El diseño generativo es una tecnología de exploración de diseños que toma un conjunto de restricciones y ofrece opciones que se pueden ir filtrando para llegar al diseño final. Aunque se ha utilizado ampliamente en la industria manufacturera, hasta la fecha se ha usado menos en la construcción.

“Se podrían evaluar múltiples diseños de líneas, quizás incluso dos o tres líneas en esa fábrica con diseño generativo, y comprender que este es el mejor uso del espacio y entender cómo pueden funcionar sus operadores en ese entorno dependiendo del diseño”, aprovechando el aprendizaje automático para participar en el diseño, dice Glancy. “A medida que veamos la democratización de todas estas tecnologías, especialmente cuando formen parte del conjunto de herramientas de los nuevos graduados, es cuando vamos a



**Al reducir los residuos y optimizar la eficiencia, la fiabilidad, la sostenibilidad y los objetivos relacionados, los expertos esperan que los gemelos digitales mejoren radicalmente la planificación y las operaciones de la fábrica.**

ver esta explosión de cambio. Creo que solo quedan de tres a cinco años. Es impresionante y aterrador al mismo tiempo”.

### **Más facilitadores de diseño de fábrica integrado**

BIM, el diseño generativo y los gemelos digitales no son las únicas tecnologías que se están aprovechando para acelerar y agilizar el proceso de diseño y construcción. El progreso hacia un diseño de fábrica totalmente integrado también se está habilitando mediante el escaneado láser, la realidad aumentada y virtual (RA/RV), el Internet de las cosas, la IA y el aprendizaje automático. Otros componentes fundamentales incluyen la nube, modelos de datos compartidos y capacidades de colaboración integradas en las propias plataformas de diseño.

El escaneado láser y la tecnología de cámara se utilizan cada vez más para generar datos, como recopilar y cargar mediciones para un proyecto de reacondicionamiento, de modo que los planificadores que no estén ahí físicamente puedan tomar decisiones de planificación. Las tecnologías de realidad aumentada y realidad virtual permiten a los miembros del equipo visitar virtualmente un modelo de edificio en progreso. La inteligencia artificial y el aprendizaje automático tienen funciones que desempeñar para mejorar todo, desde la automatización de partes de la planificación y el mantenimiento de la fábrica hasta la gestión de la calidad.

La nube está demostrando ser fundamental para facilitar un acceso fácil y compartido a las enormes cantidades de datos generados por los procesos de planificación de fábrica —datos que pueden perdurar, y que con suerte se pueden modificar cada vez que cambie la fábrica, para impulsar las actividades de mantenimiento y facilitar la renovación y replanificación. Los datos de planificación deben estar bien gestionados para garantizar su integridad y disponibilidad entre los equipos y sus herramientas.

“Para nosotros, el sistema de gestión de datos era el mayor desafío”, dice Ostermann. “Un sistema de gestión de datos afectaba mucho a nuestra fábrica, porque en el pasado, a veces era difícil encontrar los datos en el momento adecuado”. El progreso hacia los estándares de datos, que se está llevando a cabo mediante organizaciones como los grupos de la



## La comunicación y la colaboración integradas son componentes fundamentales de estas nuevas soluciones, para que todos los equipos puedan acceder a una única vista compartida en tiempo real del modelo de fábrica.

industria The Digital Twin Consortium y CESMII—The Smart Manufacturing Institute,<sup>4</sup> debería hacer que la gestión de datos sea aún más fluida.

“Creo que la gente ganará eso [la batalla por los estándares], y las empresas de software abrirán sus libros y dirán, esta es nuestra estructura”, afirma Breitenbach. “Se puede utilizar para trabajar con el software, se puede trabajar con otro software, con este formato de datos. Y no se tendrá ninguna pérdida de información al intercambiar datos”.

La comunicación y la colaboración integradas son componentes fundamentales de estas nuevas soluciones, para que todos los equipos puedan acceder a una única vista compartida en tiempo real del modelo de fábrica. Es importante que las actividades de comunicación, como las solicitudes de cambio, las solicitudes de información y el análisis de problemas, tengan lugar dentro de las propias plataformas de diseño colaborativo, para garantizar que la información siempre esté actualizada y sea accesible para todos, y que exista un registro de cada cambio realizado.

“No exagero al decir lo importante que es que haya una comunicación constante entre todas las partes interesadas”, dice Viessmann. “Para tomar la decisión correcta, se necesita tener el contexto y la comprensión adecuados. En mi experiencia, la forma de debatir ha cambiado mucho. Históricamente, los departamentos de construcción planificaban el edificio, y la producción planificaba el proceso dentro del edificio. En la actualidad, esta dirección ha cambiado; muchos edificios se planifican principalmente en torno a los procesos de producción. Basándonos en las comunicaciones y simulaciones, logramos los mejores resultados y el máximo rendimiento”.

### Reimaginando la planificación de fábrica para el siglo XXI

El cumplimiento de plazos y presupuestos ya no es el estándar por el que se juzgan los proyectos de construcción de fábricas. Hoy en día, los procesos de planificación y construcción deben ser rápidos y estar bien integrados, y apoyar nuevos objetivos en torno a la sostenibilidad y la Industria 4.0. Además de cumplir estos objetivos, la instalación debe adaptarse fácilmente a los usos futuros y ser capaz de minimizar su propio mantenimiento e impacto medioambiental.

La tecnología está demostrando ser el factor clave para ayudar a los fabricantes y a sus socios de planificación y producción a derribar compartimentos estancos en cuanto a herramientas, datos y colaboración, en su búsqueda de una forma cada vez más eficiente y fluida de planificar y construir una fábrica. Los defensores de herramientas y datos más integrados, así como de los procesos y la cultura esenciales para el éxito de estas herramientas en todos los equipos que diseñan, construyen y operan fábricas, son optimistas respecto al potencial de procesos de diseño de fábricas integrados que reducen el riesgo, ahorran tiempo y dinero y crean instalaciones resistentes y mutables capaces de apoyar los objetivos en evolución de cara al futuro.

“Estoy convencido de que el proceso de planificación siempre va a volverse más integrado”, dice Hoecherl. “Y creo que la colaboración será mucho más fácil, incluso entre las diferentes organizaciones asociadas. Las plataformas digitales son clave para permitir una coordinación fluida entre los diferentes expertos en la materia implicados al ofrecer acceso a la información más reciente. Combinadas con los avances en tecnología y simulación de gemelos digitales, tenemos al alcance de la mano facilitadores que ofrecen el potencial de anticipar los proyectos a un coste razonable y, por tanto, de reducir el riesgo de implementación”.

#### Notas finales

- 1 Juniper Research, “Why Digital Twins Are Critical to the Industry”, junio de 2020. <https://www.juniperresearch.com/whitepapers/why-digital-twins-are-critical-to-the-industrial>.
- 2 Digital Twin Consortium, “The Definition of a Digital Twin”. <https://www.digitaltwinconsortium.org/hot-topics/the-definition-of-a-digital-twin.htm>.
- 3 Maria João Ribeirinho, Jan Mischke, Gernot Strube, Erik Sjödin, Jose Luis Blanco, Rob Palter, Jonas Biörck, David Rockhill, and Timmy Andersson, “The Next Normal in Construction”, McKinsey & Co., junio de 2020. <https://www.mckinsey.com/-/media/McKinsey/Industries/Capital%20Projects%20and%20Infrastructure/Our%20Insights/The%20next%20normal%20in%20construction/The-next-normal-in-construction.pdf>.
- 4 The Digital Twin Consortium y CESMII—The Smart Manufacturing Institute, “Digital Twin Consortium Announces a Liaison with CESMII—The Smart Manufacturing Institute”, noviembre de 2021. <https://www.digitaltwinconsortium.org/press-room/11-02-21.htm>.





**Harvard  
Business  
Review**

ANALYTIC SERVICES

## **SOBRE NOSOTROS**

Harvard Business Review Analytic Services es una unidad de investigación comercial independiente dentro del Harvard Business Review Group, que realiza investigaciones y análisis comparativos sobre importantes desafíos de gestión y oportunidades para los negocios emergentes. Con el fin de proporcionar inteligencia empresarial y conocimientos a los grupos de referencia, cada informe se publica en función de los resultados de la investigación y los análisis cuantitativos o cualitativos originales. Las encuestas cuantitativas se llevan a cabo con el Consejo Asesor de HBR, el panel de investigación global de HBR y la investigación cualitativa se lleva a cabo con ejecutivos empresariales sénior y expertos en la materia de dentro y fuera de la *comunidad de autores* de Harvard Business Review. Escríbanos a [hbranalyticsservices@hbr.org](mailto:hbranalyticsservices@hbr.org).

**[hbr.org/hbr-analytic-services](https://hbr.org/hbr-analytic-services)**