McKinsey & Company

IIoT y Analítica avanzada para lograr la transformación del sector industrial

Cómo alinear el negocio, la organización y la tecnología para capturar valor a escala

Por Andreas Behrendt, Enno de Boer, Tarek Kasah, Bodo Koerber, Niko Mohr and Gérard Richter

Prefacio

El conjunto de tecnologías avanzadas en el espacio de la manufactura está compuesto por muchas innovaciones digitales: analítica avanzada, automatización, el internet industrial de las cosas (IIoT, por sus siglas en inglés), Industria 4.0 o cuarta revolución industrial, aprendizaje automático (machine learning), inteligencia artificial (IA), plataformas en la nube y otras. Estas innovaciones tienen el potencial de impulsar la productividad de la Operativa *legacy* de las empresas. En el caso de las empresas establecidas, estas tecnologías avanzadas apoyan la creación de modelos de negocio completamente nuevos facilitados digitalmente y ayudan a aumentar las eficiencias operativas y la experiencia del cliente en la producción y la logística. Las empresas manufactureras que quieran modernizarse no pueden hacer caso omiso de estos beneficios; grandes organizaciones del sector están trabajando ya con estas tecnologías, al menos hasta cierto punto.

De las tecnologías digitales enumeradas arriba, el IIoT o cuarta revolución industrial —términos que usaremos indistintamente en este informe— son de particular relevancia para la manufactura. Sin embargo, aunque muchas empresas manufactureras están probando iniciativas digitales, muy pocas han logrado escalar sus casos de uso basados en el IIoT de una manera que logre beneficios operativos o financieros significativos. Una de las razones de esta "trampa" de los programas piloto es, probablemente, que el IIoT suele verse principalmente como un desafío técnico de implementación, a la vez que el impulso hacia la adopción es liderado por especialistas en tecnología de la información (IT, por sus siglas en inglés) y tecnología de las operaciones (OT, por sus siglas en inglés).

No obstante, una y otra vez se hace evidente que para derivar verdaderas ganancias de los esfuerzos relacionados con el IIoT se necesita que los directivos de más alto nivel creen las condiciones en las cuales se pueden cambiar los procesos a todo lo largo de la empresa, allanando el camino para la creación de valor sostenible y a gran escala. Por ejemplo, conectar el equipo de producción a internet permitirá que una compañía reduzca el tiempo de inactividad mediante la optimización de la productividad de los activos basada en el análisis, pero si los procesos operativos relacionados no se modifican u optimizan, el valor se limitará solo a esa área particular. Con el fin de maximizar el valor del IIoT, la gente y los procesos también tienen que cambiar, usando realmente los beneficios de esos descubrimientos impulsados por el análisis de datos, al recibir información en tiempo real para reaccionar más rápido u obtener mejor información para impulsar una acción más enfocada. Esto requiere el compromiso de los líderes, para garantizar que el IIoT no sea solo una iniciativa del área de tecnología de la información sino un esfuerzo que abarque a toda la organización.

Implementar el IIoT a gran escala también presenta obstáculos técnicos. Muchas organizaciones todavía se están preguntando, por ejemplo, cómo superar los desafíos causados por sistemas y entornos de aplicación heterogéneos, o cómo analizar qué funciones deben ser apoyadas por qué sistemas (por ejemplo, la gestión del ciclo de vida del producto, la planificación de recursos empresariales, la ejecución de la manufactura, la gestión de la cadena de suministro). También está la pregunta sobre el lugar en que se deben desplegar esos sistemas —en el edge del lugar de la manufactura o en la nube—, una pregunta relacionada con la gobernanza entre IT y OT, que considera también las necesidades de latencia y seguridad.

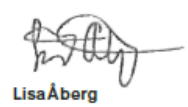
Debido a estas complejidades, es posible que incluso compañías con una buena historia de IIoT se enfrenten a desafíos si lo hacen en solitario. Los ecosistemas de IIoT están creciendo y mejorando día a día. En muchos casos, la colaboración —con frecuencia con otros jugadores que tienen niveles más altos de experiencia en áreas tales como el análisis, IIoT y plataformas en la nube dentro del *stack* de software industrial— puede ser una ventaja competitiva. Más allá de la necesidad de colaboración, la complejidad de los ecosistemas emergentes plantea preguntas relacionadas con la inversión, el liderazgo y la gobernanza.

En conclusión, superar los desafíos mencionados tiene que ver con superar el reto de la integración entre las operaciones de negocios, la organización y la tecnología. Además, con base en el enfoque de los Servicios de Transformación Digital de

McKinsey, este informe ofrece pautas para impulsar las transformaciones digitales mediante la alineación exitosa de las esferas del negocio, la organización y la tecnología. Estas perspectivas ayudarán a que los líderes del sector de la manufactura y la tecnología entiendan mejor el entorno del IIoT y posicionen sus organizaciones de forma que puedan aprovechar todo el conjunto de sus beneficios.

Enero del 2021

Comprometidos con su éxito en IIoT, fabricación digital y operaciones conectadas



Lisa Åberg
Senior Partner
Stockholm

Venkat Atluri
Senior Partner
Chicago

Aamer Baig
Senior Partner
Chicago

Harald Bauer
Senior Partner
Frankfurt

Thomas Baumgartner
Senior Partner
Vienna

Andreas Behrendt
Partner
Cologne

Nico Berhausen
Partner
Stockholm

Sven Blumberg
Senior Partner
Düsseldorf

Dirk Breitschwerdt
Senior Partner
Munich

Ondrej Burkacky
Partner
Munich

Gianluca Camplone
Senior Partner
Chicago

Raffaele Carpi
Partner
Lisbon

Albert Chang
Partner
Taipei

Michael Chui
Partner
San Francisco

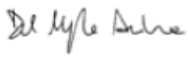
Andreas Cornet
Senior Partner
Munich

Mike Coxon
Partner
Cleveland

Enno de Boer
Partner
New Jersey

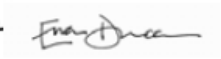
Marc de Jong
Partner
Amsterdam

Hugo del Campo
Senior Partner
Madrid



Andrea del Miglio
Senior Partner
Milan

Valerio Dilda
Partner
Paris



Ewan Duncan
Senior Partner
Seattle

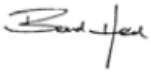
Karel Eloot
Senior Partner
Shanghai

Katy George
Senior Partner
New Jersey

Ferry Grijpink
Senior Partner
Amsterdam

Mikael Hanicke
Partner
Gothenburg

Holger Harreis
Senior Partner
Düsseldorf



Bernd Heid
Senior Partner
Cologne

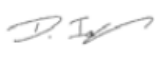
Nicolaus Henke
Senior Partner
London

Dorothee Herring
Partner
Düsseldorf

Ruth Heuss
Senior Partner
Berlin

Anne Hidma
Partner
Amsterdam

Klemens Hjartar
Senior Partner
Copenhagen



Daniele Iacovelli
Partner
Hamburg

Christian Jansen
Partner
Hamburg

Paul Jenkins
Senior Partner
Oslo

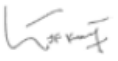
Andras Kadocsa
Partner
Budapest

Axel Karlsson
Senior Partner
Stockholm

Matthias Kässer
Partner
Munich

Richard Kelly
Partner
Stamford

Bodo Koerber
Partner
Düsseldorf

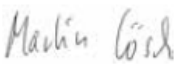


Jean-Frederic Kuentz
Senior Partner
Taipei

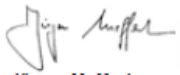
Eric Lamarre
Senior Partner
Boston

Martin Lehnich
Partner
Shenzhen

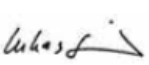
Martin Linder
Senior Partner
Munich



Martin Lösch
Senior Partner
Stuttgart

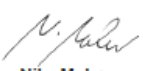


Jürgen Meffert
Senior Partner
Düsseldorf



Lukas Michor
Partner
Vienna

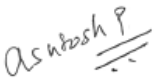
Roberto Migliorini
Partner
London



Niko Mohr
Partner
Düsseldorf

Nicolai Müller
Senior Partner
Cologne

Olivier Noterdaeme
Partner
Brussels



Asutosh Padhi
Senior Partner
Chicago

Mark Patel
Senior Partner
San Francisco

Anders Rasmussen
Senior Partner
London

Gérard Richter
Senior Partner
Frankfurt

Wolf Richter
Partner
Berlin

Mikael Robertson
Senior Partner
Stockholm

Matthias Roggendorf
Partner
Berlin

Tamim Saleh
Senior Partner
London

Christoph Schmitz
Senior Partner
Frankfurt

Ulf Schrader
Senior Partner
Hamburg

Abhyuadaya Shrivastava
Partner
Singapore

Anil Sikka
Partner
Taipei

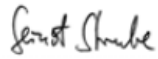
Markus Simon
Partner
Cologne

Kate Smaje
Senior Partner
London

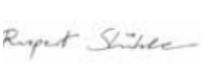
Naomi Smit
Partner
Amsterdam

Francois Soubien
Partner
Paris

Jacob Staun
Partner
Copenhagen



Gernot Strube
Senior Partner
Munich



Rupert Stuetzle
Partner
Berlin

Daniel Swan
Senior Partner
Stamford

Yoshi Takanuki
Senior Partner
London

Andreas Tschiesner
Senior Partner
Munich

Steve Van Kuiken
Senior Partner
New Jersey

Joris van Niel
Partner
Amsterdam

Rutger Vrijen
Partner
Silicon Valley

Martin Wrulich
Partner
Vienna

Jan Wüllenweber
Senior Partner
Cologne

Rodney Zemmel
Senior Partner
New York

Contenido

Prefacio		**3**
Introducción y mensajes claves		**9**
Parte A:	**Tendencias de la industria para una perspectiva prometedora en la manufactura digital**	**14**
1.	**Breve descripción de los desarrollos tecnológicos y de impacto en el espacio de la manufactura digital**	**14**
1.1	Las tendencias de la tecnología son bastante prometedoras	14
1.2	Al aprovechar una red troncal habilitada por IIoT, las plantas de la Global Lighthouse Network logran resultados significativos en sus indicadores de desempeño	16
2.	**Las compañías de manufactura deberían continuar comprometidas con la innovación digital... y revaluar sus iniciativas digitales**	**19**
Parte B:	***Framework* para el éxito en la captura de valor a escala basada en IIoT**	**24**
1.	**Negocio (manufactura)**	**28**
1.1	Identificación y priorización de los casos de uso	28
	Paso 1: Generar una lista completa de casos de uso de forma que combine enfoques *top-down* y *bottom-up*.	28
	Paso 2: Catalogar, calificar y priorizar los casos de uso	28
	Paso 3: Establecer los casos faro para las plantillas maestras	30
1.2	Aplicación e implementación en la planta	30
	Paso 1: Configurar una implementación impulsada por el valor y que busque impacto	31
	Paso 2: comenzar a recopilar y agregar datos, realizando otras actividades relevantes en paralelo	33
	Paso 3: Establecer los procesos y la colaboración que permitan el despliegue requerido	34
2.	**Organización**	**35**
2.1	Captura de valor: gestión del cambio y el rendimiento	35
	Paso 1: Definir una hoja de ruta general para la transformación de IIoT y valores objetivo de los casos de uso	35
	Paso 2: Establecer una organización, un modelo y un mecanismo de captura de valor	35
	Paso 3: Implementar una gestión de desviaciones consistente	35
2.2	Desarrollo de capacidades y una nueva forma de trabajar	35
	Paso 1: Establecer cambios organizativos estructurales e implementar un nuevo gobierno y una nueva forma de trabajar	36
	Paso 2: Identificar y resolver la carencia de competencias	39

	Paso 3: Gestionar la transición de roles e implementar un proceso de transformación para apoyar un cambio de mentalidad a lo largo de los distintos niveles de jerarquía	41
3.	**Tecnología**	**43**
3.1	Infraestructura IIoT y de datos: diseño de la plataforma *core* (incluyendo ciberseguridad IT-OT)	43
	Paso 1: Evaluar completamente la configuración de las operaciones existentes tanto en OT como en IT	49
	Paso 2: Crear la arquitectura objetivo para facilitar el caso de uso	51
	Paso 3: Gestionar eficazmente los desafíos de ciberseguridad en la convergencia de IT-OT	56
	Paso 4: Seleccionar un socio en lugar de un proveedor para ayudar a implementar la plataforma	59
3.2	Plataforma IIoT: el imperativo de la nube en el sector de manufactura	60
	Paso 1: Hacer que la nube dé sus frutos a corto plazo	62
	Paso 2: Gestionar y controlar estrictamente la transformación de la nube	63
	Paso 3: Configurar un equipo de infraestructura que pueda operar de manera muy similar a un equipo de desarrollo de aplicaciones	64
3.3	Ecosistema tecnológico	65
	Paso 1: Comprender los elementos claves de un ecosistema sostenible	65
	Paso 2: Elegir socios adecuados con miras a lograr una diversidad equilibrada para el ecosistema habilitado por la plataforma	65
	Paso 3: Implementar equipos de desarrollo de negocio como una estructura para gestionar el complejo ecosistema y garantizar la agilidad	67
Resumen:	**Cómo comenzar una transformación digital en el sector de la manufactura**	**68**
Glosario		69
Autores		73
Contactos		74

Introducción y mensajes claves

Las innovaciones en el *stack* de software industrial, junto con las aplicaciones de analítica avanzada, IA, aprendizaje automático, conectividad 5G, *edge computing* y IIoT, son activos potencialmente valiosos para los empresarios del sector de la manufactura. Para muchas compañías industriales, sin embargo, la "selección de la tecnología" puede ser la parte fácil; el verdadero reto está en capturar valor y escalar los casos de uso de impacto.

Ilustración 1

Los Servicios de Transformación Digital de McKinsey aportan un enfoque integrado para impulsar transformaciones de un extremo a otro en negocios, organización y tecnología

Negocio

Aumentar las ventas		Reducir costes				Optimizar el efectivo	
Ventas digitales y marketing	Diseño de producto digital/ investigación y desarrollo ágil	Adquisiciones digitales	Diseño según costes/ diseño para X	**Manufactura digital**	Digitalización de procesos del back-/mid-/front-office	Cadena de suministro digital / inventario	Cuentas a pagar y por cobrar/ Capex

Enfoque en este informe

Organización

Infraestructura de desempeño: "el cerebro"	Usar una cadencia implacable para garantizar una ejecución superior y una entrega de valor al balance final, impulsando iniciativa financieras, objetivos y resultados clave
Transparencia financiera: "el ojo"	Crear transparencia financiera y generadores de valor vinculados al valor económico para que las mejoras en el terreno se traduzcan en ganancias financieras
Gestión de cambios: "el corazón"	Fomentar los cambios de mentalidad y comportamiento necesarios para operar en un medio ambiente digitalizado y mantener la transformación
Construcción de capacidad digital: "el músculo"	Volver a capacitar a la organización actual en las capacidades funcionales, de liderazgo, digitales y de transformación
Organización ágil: "el yogi"	Construir sobre principios ágiles para organizar, operar, innovar y transformar de manera iterativa y multifuncional

Tecnología

Infraestructura IIoT: "el esqueleto"	Desarrollar una planificación holística y una arquitectura IIoT para escalar los casos de uso digitales en toda la organización
Infraestructura de datos: "la sangre"	Obtener los datos correctos en el momento y la calidad adecuados para habilitar los casos de uso analíticos y digitales
Ecosistema tecnológico: "la comunidad"	Ampliar la red de empresas con las que asociarse y obtener licencias para traer nuevas capacidades a la empresa

Fuente: McKinsey DTS

Los casos de uso tienen que ser facilitados de forma digital, pero los sistemas y las aplicaciones existentes pueden constituir una barrera de entrada (p.ej., software, *legacy*, crecimiento orgánico, actividades de fusión y adquisición, externalización de tecnología). Estos desafíos técnicos, en combinación con los obstáculos de un plan de negocio poco claro y capacidades organizacionales insuficientes, terminan atrapando a muchas compañías en un continuo "purgatorio de proyectos piloto".

En años recientes, la tecnología ha hecho enormes progresos, en especial en el campo de la conectividad escalable y la integración, lo cual permite finalmente que las empresas manufactureras puedan "envolver" y extender las soluciones existentes, en lugar de desmantelarlas y reemplazarlas. Si se usan con prudencia, estas tecnologías les permiten a las empresas implementar y escalar casos de uso relevantes a un coste incremental mínimo.

El trabajo de los Servicios de Transformación Digital de McKinsey ha mostrado que las empresas de manufactura que adoptan un enfoque integrado son las más exitosas. Estas compañías capturan el valor de la digitalización industrial a lo largo de la cadena de valor, incluyendo a sus proveedores y clientes. Desde el comienzo de la transformación, ven la importancia de los enormes cambios que se requieren en la organización y la tecnología, los cuales se deben pensar más allá de las funciones individuales (Ilustración 1). Este informe se centra en la manufactura digital así como en los cambios organizacionales y tecnológicos subyacentes para respaldarla (Ilustración 1).

El objetivo de este informe es ofrecer conocimientos que se puedan poner en práctica de inmediato acerca de los distintos temas que plantea la entrada de nuevas tecnologías como habilitadores empresariales, y cómo capturar valor y escalar exitosamente los casos de uso en el sector de la manufactura. La práctica sobre IoT y Manufactura de McKinsey ha lanzado un trabajo de investigación para entender los facilitadores claves de esta captura de valor a escala basada en el IIoT, y los resultados se resumen en este informe. Este ofrece razones por las cuales las compañías deberían continuar aprovechando la tecnología facilitada por el IIoT, así como orientación de uso inmediato sobre cómo pueden hacerlo. El informe se basa tanto en el conocimiento de los Servicios de Transformación Digital de McKinsey como en la extensa experiencia de la firma en proyectos, sumados a la investigación más reciente hecha por la firma y opiniones de respetadas fuentes (véase el Cuadro de texto 1).

Cuadro de texto 1: Fuentes de las afirmaciones del informe

- Enfoque de los Servicios de Transformación Digital de McKinsey.
- Estudios realizados por McKinsey en colaboración con el Foro Económico Mundial - 54 fábricas modelo o "faros" en manufactura digital[1].
- Experiencias de estudios de clientes grandes y de gran impacto con compañías manufactureras líderes en IIoT, analítica y transformaciones facilitadas por la nube, que aprovechan las últimas tecnologías en conectividad, arquitectura de datos y *edge computing*.
- Lecciones claves de exitosas transformaciones digitales impulsadas por datos, con un enfoque especial en la transformación de competencias, la construcción de capacidades y la gestión del cambio.
- Investigación de McKinsey e intercambios en profundidad con instituciones académicas y asociaciones industriales líderes y encuestas industriales.

Este informe no es solo para ejecutivos de IT y OT y directivos digitales del entorno industrial; también es relevante para líderes de una variedad de funciones y áreas, entre otras, operaciones, cadena de suministro, ingeniería de procesos y servicios.

1 Foro Económico Mundial y McKinsey & Company, "Global Lighthouse Network: Four durable shifts for a great reset in manufacturing", World Economic Forum, septiembre 2020, https://www.weforum.org/whitepapers/global-lighthousenetwork-four-durable-shifts-for-a-great-reset-in-manufacturing.

Guía rápida para el lector

El tiempo es una materia prima escasa y queremos que usted aproveche al máximo este informe. Debido a que muchos lectores están interesados en temas específicos, hemos creado una guía que marca los capítulos más relevantes para cada audiencia.

— Si usted es director ejecutivo (CEO) de una compañía, miembro de una junta directiva o un gerente general que sospecha que las operaciones de manufactura de su empresa necesitan una transformación digital, pero no está muy seguro de qué hacer: antes que nada, lea la parte A para enterarse de las últimas tendencias y lo que se sabe hasta ahora sobre cómo aprovechar la tecnología IIoT en el contexto de la manufactura, y para aprender sobre el impacto potencial de casos de fábricas modelo identificadas por McKinsey y el Foro Económico Mundial. Lea también la introducción a la parte B para una perspectiva sobre nuestro marco para una transformación digital exitosa en manufactura.

— Si usted es jefe de operaciones (COO, por sus siglas en inglés), un líder senior en manufactura o un gerente de planta que está buscando una perspectiva sobre el valor empresarial de la tecnología IIoT y cómo aprovecharlo: lea el capítulo 1 de la parte B para entender cómo priorizar los casos de uso digitales en manufactura y desplegarlos a lo largo de una red de plantas para lograr gran impacto. Lea también el capítulo 2 de la parte B para una perspectiva sobre lo que se necesita para acelerar una transformación digital exitosa en el sector de la manufactura, en términos de capturar el valor de los casos de uso digitales y la creación de la fuerza laboral del futuro, con los roles y competencias requeridos.

— Si usted es un director de sistemas de información (CIO, por sus siglas en inglés) que cree firmemente que la tecnología IIoT puede hacer progresar su empresa, pero no está satisfecho con el desempeño de la tecnología hasta ahora: empiece con el capítulo 3 de la parte B para aprender más sobre cómo la infraestructura del IIoT puede contribuir a mejorar la eficiencia operativa, cómo el IIoT puede beneficiar los departamentos de la empresa y cómo un ecosistema de socios externos puede impulsar las capacidades de innovación y tecnología.

— Si usted es el responsable de los datos de una empresa (CDO, por sus siglas en inglés) y está buscando el conocimiento más actualizado y experiencia probada sobre la implementación de iniciativas digitales que facilitan la innovación estratégica y la transformación empresarial en el sector de la manufactura: concéntrese en la parte A y el capítulo 1 de la parte B.

— Si usted es el responsable técnico de los sistemas de información (CTO, por sus siglas en inglés) de una empresa y está buscando una perspectiva novedosa sobre la infraestructura tecnológica global de su organización, incluyendo aspectos claves como el desarrollo de tecnología comercializable, la sugerencia de nuevas tecnologías a implementar y cómo interactuar con compradores externos y la gestión presupuestaria: lea primero el capítulo 1 de la parte B y, luego, el capítulo 3 de la parte B.

La investigación y los análisis realizados para elaborar este informe arrojaron los siguientes hallazgos, los cuales se presentan a lo largo de la estructura del informe:

I. Por qué las organizaciones del sector de la manufactura deben aprovechar el IIoT y las tecnologías avanzadas para su transformación digital

Existen múltiples y buenas razones por las cuales las empresas deberían empezar a aprovechar o seguir aprovechando las tecnologías avanzadas y de IIoT:

Las barreras al IIoT están desapareciendo...

— El despliegue de los casos de uso a escala se está acelerando, a medida que las plataformas se vuelven cada vez más amigables con el usuario —es decir, *low-code* / no-code software — y los paquetes de herramientas hacen que el desarrollo y la instalación sean más efectivos que nunca desde el punto de vista de los costes.

— La computación descentralizada —desde el Edge de la zona de producción hasta la nube— se está volviendo predominante, a medida que las soluciones de infraestructura facilitan la gestión de redes dispersas de recursos de plataforma y enfrentan el tema de los requisitos en tiempo real.

— La integración y la conectividad han mejorado de manera importante gracias a estándares tales como Open Platform Communications (OPC) Unified Architecture y la llegada de la tecnología 5G, la cual ofrece gran velocidad, baja latencia, alta seguridad y soluciones muy flexibles en los casos en los que las alternativas actuales fallan.

— El poder de computación y procesamiento ha aumentado de forma exponencial, mientras que los costes unitarios de almacenamiento y procesamiento central han caído de forma notoria.

... y los beneficios del IIoT son significativos

— Mediante la implementación del IIoT, tal como lo muestran los 54 faros globales del Foro Económico Mundial, se pueden lograr mejoras significativas en productividad, rendimiento, sostenibilidad, agilidad, velocidad de llegada al mercado y customización[2] (véase Ilustración 4).

— Un cambio hacia la manufactura avanzada aumenta significativamente la resiliencia del sector industrial, permitiéndole reaccionar más rápidamente a una crisis, a través de modernas herramientas digitales de planificación del trabajo.

II. Cómo pueden las organizaciones del sector de la manufactura alinear las esferas del negocio, la organización y la tecnología con el fin de capturar valor a gran escala

La implantación exitosa del IIoT a escala es el resultado de siete acciones claves en tres áreas:

— **Por el lado del negocio.** Primero se identifican, se priorizan y se hace un piloto de los casos de uso. Luego se define la hoja de ruta para desarrollar estos casos de uso a lo largo de las divisiones de IT y OT y de todas las ubicaciones de las plantas, así como las medidas necesarias de captura de valor y capacidad, teniendo en mente el impacto general y sin distraerse con requisitos de soluciones locales. En cuanto a la mejora de las iniciativas locales, deberán ser monitoreadas y abordadas más adelante.

— **Por el lado de la organización.** Se establecen valores objetivos claros para toda la transformación y se instala una unidad responsable de monitorizar el progreso y corregir el curso cuando sea necesario. Luego se debe establecer una nueva manera de trabajar que facilite la involucración multifuncional y el desarrollo de competencias y capacidades relevantes.

— **Por el lado de la tecnología.** Primero se define la situación actual y la arquitectura de destino de la plataforma de IIoT, enfocándose en la recopilación, conexión, ingesta e integración de los datos, de modo que faciliten los casos de uso, entre otros, gestionar la ciberseguridad de la plataforma. Luego hay que entender el impacto de la computación en la nube en el sector de la manufactura e integrarlo en el diseño general de la plataforma. En tercer lugar, se establece el ecosistema de vendedores y socios que va a apoyar la implementación, teniendo en cuenta los diferentes niveles de complejidad de cada planta (tales como el tipo de manufactura y de producto, el tamaño de la planta y el entorno IT-OT).

Estas acciones se describen en mucho más detalle en el informe (para un resumen, véase el Cuadro 1). Los fabricantes pueden encaminarse hacia el éxito incluso antes de dar el primer paso formal si se hacen preguntas sinceras y críticas sobre sus metas, la madurez digital, la preparación organizacional y los retos que enfrentan.

2 A partir de octubre de 2020.

Cuadro 1: Descripción general de los siete procesos que permiten una transformación digital en la manufactura y sus pasos clave

Dimensión	Proceso	Pasos clave	Página
Negocio (manufactura)	1.1 Identificación y priorización de los casos de uso	– Paso 1: Generar una lista completa de casos de uso de forma que combine enfoques *top-down y bottom-up*	28
		– Paso 2: Catalogar, calificar y priorizar los casos de uso	28
		– Paso 3: Establecer los casos faro para las plantillas maestras	30
	1.2 Aplicación e implementación en la planta	– Paso 1: Configurar una implementación impulsada por el valor y que busque impacto	31
		– Paso 2: Comenzar a recopilar y agregar datos, realizando otras actividades relevantes en paralelo	33
		– Paso 3: Establecer los procesos y la colaboración que permitan el despliegue requerido	34
Organización	2.1 Captura de valor: gestión del cambio y el rendimiento	– Paso 1: Definir una hoja de ruta general de la transformación de IIoT y los valores objetivo de los casos de uso	35
		– Paso 2: Establecer una organización, un modelo y un mecanismo que capturen valor	35
		– Paso 3: Implementar una gestión de desviaciones consistente	35
	2.2 Desarrollo de capacidades y una nueva forma de trabajar	– Paso 1: Establecer cambios organizativos estructurales e implementar un nuevo gobierno y una nueva forma de trabajar	36
		– Paso 2: Identificar y resolver la carencia de competencias	39
		– Paso 3: Gestionar la transición de roles e implementar un proceso de transformación para apoyar un cambio de mentalidad a lo largo de los distintos niveles de jerarquía	41
Tecnología	3.1 Infraestructura IIoT y de datos: diseño de la plataforma *core* (incluyendo ciberseguridad IT-OT)	– Paso 1: Evaluar completamente la configuración de las operaciones existentes tanto en OT como en IT	49
		– Paso 2: Crear la arquitectura objetivo para facilitar el caso de uso	51
		– Paso 3: Gestionar eficazmente los desafíos de ciberseguridad en la convergencia IT-OT	56
		– Paso 4: Seleccionar un socio en lugar de un proveedor para ayudar a implementar la plataforma	59
	3.2 Plataforma IIoT: el imperativo de la nube en el sector de manufactura	– Paso 1: Hacer que la nube dé sus frutos a corto plazo	62
		– Paso 2: Gestionar y controlar estrictamente la transformación de la nube	63
		– Paso 3: Configurar un equipo de infraestructura que pueda operar de manera muy similar a un equipo de desarrollo de aplicaciones	64
	3.3 Ecosistema tecnológico	– Paso 1: Comprender los elementos claves de un ecosistema sostenible	65
		– Paso 2: Elegir socios adecuados, con miras a lograr una diversidad equilibrada para el ecosistema habilitado por la plataforma	65
		– Paso 3: Implementar equipos de desarrollo de negocio como una estructura para gestionar el complejo ecosistema y garantizar la agilidad	67

Parte A: Tendencias de la industria para una perspectiva prometedora en la manufactura digital

Muchos fabricantes se enfrentan todavía a desafíos con la captura de valor a escala basada en el IIoT y facilitada digitalmente. No obstante, existen muchos indicios de que hay un gran potencial en la digitalización a la vuelta de la esquina, de manera que las empresas del sector de la manufactura deben seguir comprometidas con la innovación digital y prepararse para esta.

Esta parte del informe ofrece, primero, un resumen de las posibilidades que ofrece la tecnología en el corto plazo (parte A, capítulo 1.1). Luego describirá los resultados operativos y financieros del siguiente nivel que ya están logrando las empresas manufactureras que están a la cabeza del proceso de adopción de tecnologías digitales (relacionadas con el IIoT) [parte A, capítulo 1.2]. El capítulo 2 de la parte A ofrece otros hallazgos recientes sobre el contexto actual de la producción digital. Con base en la información brindada en el capítulo anterior, estos hallazgos describen los beneficios que obtendrán los productores que definan un programa exhaustivo de transformación digital para capturar valor a escala (procesos que serán analizados en la parte B).

1 Breve descripción de los desarrollos tecnológicos y de impacto en el espacio de la manufactura digital

Desde el punto de vista tecnológico, ha sido posible aplicar casos de uso basados en la tecnología de la información y las comunicaciones desde hace un par de años ya. Sin embargo, lo que estamos presenciando ahora es la aparición de posibilidades completamente nuevas para la aplicación de casos de uso sofisticados e innovadores de manera simplificada. Además, las plantas de la Red Global de Faro del Foro Económico Mundial están demostrando capacidades de vanguardia. Si se hace bien, el apalancamiento de una red troncal habilitada para la tecnología IIoT puede conducir a mejoras innovadoras en el desempeño (mediciones) de las empresas manufactureras en todas las industrias y con una amplia gama de casos de uso.

1.1. Las tendencias de la tecnología son bastante prometedoras

Se pueden identificar tres tendencias tecnológicas de primera línea relacionadas con el IIoT que tienen que ver con los casos de uso:

I. La implementación de los casos de uso se simplifica

La implementación de los casos de uso se simplifica principalmente mediante cuatro desarrollos:

— **Efectos de red**. Las plataformas de IIoT se están volviendo más amigables con el usuario, mientras que el software apoya la expansión de los usuarios. Adicionalmente, en la medida en que el acceso al desarrollo del software de IIoT se expande, empezará a experimentarse más, para beneficio de todo el ecosistema de la manufactura que utilice IIoT.

— **Desarrollo simplificado**. Un completo conjunto de interfaces de programación de aplicaciones (API, por sus siglas en inglés) listas para usar y microservicios, estándares de comunicación (semi)establecidos y apps y editores disponibles que no necesitan casi escribir código contribuyen a una creación e implementación de los casos de uso más efectiva desde el punto de vista de los costes. Estas plataformas *low-code/no-code* ofrecen a las empresas pequeñas y medianas acceso a la funcionalidad del software de IIoT sin necesidad de contar con el talento de programación que tenían que tener las empresas pioneras en adoptar estas tecnologías.

— **Escalabilidad**. Las rutinas para abastecer y actualizar rápidamente aplicaciones de pipeline de datos reutilizables, la contenerización para la implementación de software independiente del hardware en diferentes dispositivos de vanguardia y soluciones sofisticadas para administrar todo el *stack* de software/ hardware permiten la implementación de metodologías DevSecOps[3] y ayudan a escalar rápidamente las plataformas en fábricas y plantas.

— **Creciente disponibilidad de casos de uso**. El poder de computación y procesamiento ha aumentado significativamente, mientras que los costes unitarios de almacenamiento y procesamiento central han caído notoriamente (Ilustración 2).

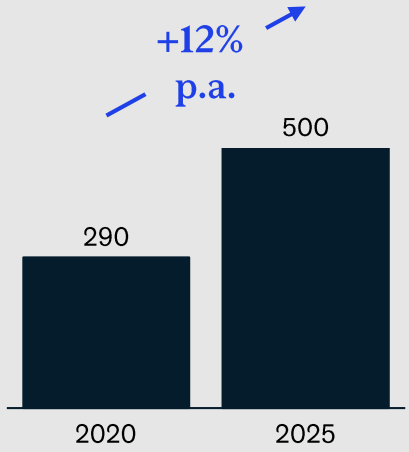
3 Al contener desarrollo de software, seguridad IT y operaciones IT, "DevSecOps" expande el enfoque establecido de DevOps con el importante factor de la ciberseguridad; para más detalles, véase el Glosario.

Ilustración 2

IIoT será un mercado de 500 mil millones de dólares para el 2025 a medida que los avances en sus tecnologías esenciales incrementen la demanda

Estimación de alto nivel

Gasto en IIoT,2020–25,[1]
Miles de millones de dólares



Se espera que el mercado general crezca dada la fuerte demanda subyacente y el aumento en la disponibilidad de casos de uso

Impulsores clave del crecimiento

	Inicios de los 2000	Hoy
Coste de sensores	El precio unitario promedio por sensor era >1,30 dólares	El precio unitario ha caído a <0,50 dólares por sensor
Coste de almacena-miento de datos	Almacenar 1GB de datos costaría >500 dólares	1GB de datos puede ser almacenado por un precio tan bajo como 0,02 dólares
Presencia de los dispo-sitivos	Los dispositivos de IoT estaban en gran parte limitados a aplicaciones especializadas, por ejemplo, cámaras de seguridad	8,4 miles de millones de dispositivos de IoT están en uso; el consumidor digital promedio posee ~4 dispositivos conectados
Conecti-vidad	Los teléfonos funcionaban con redes 2G en ~50 kbps; el Wi-Fi y el Bluetooth acababan de ser introducidos	La red móvil 5G soporta hasta 20 GB/s (aumentó x400.000) el Wi-Fi y el Bluetooth son tecnologías estándar

1. Incluye construcción, manufactura, industrias de los recursos y transporte

Fuente : IDC; McKinsey

II. La computación de borde o periférica *(edge computing)* se está volviendo tendencia

Existen tres factores claves que están moviendo la capacidad computacional desde la nube para llevarla a los dispositivos locales: 1) las tecnologías periféricas tienen una conectividad intermitente que permite un rango más amplio de características en comparación con las que están todo el tiempo en línea; 2) los dispositivos sofisticados dependen de la toma de decisiones en tiempo real, y 3) las decisiones computacionales que se requieren no dependen de mayor poder de cómputo. En el año 2025 se puede esperar que la computación periférica represente un valor potencial de USD $175 mil a USD $215 mil millones en hardware. Los sectores que están generando principalmente este valor en hardware son los viajes, el transporte y la logística, y las ventas al por menor, que representan aproximadamente un 32 por ciento de los entornos actuales de casos de uso.

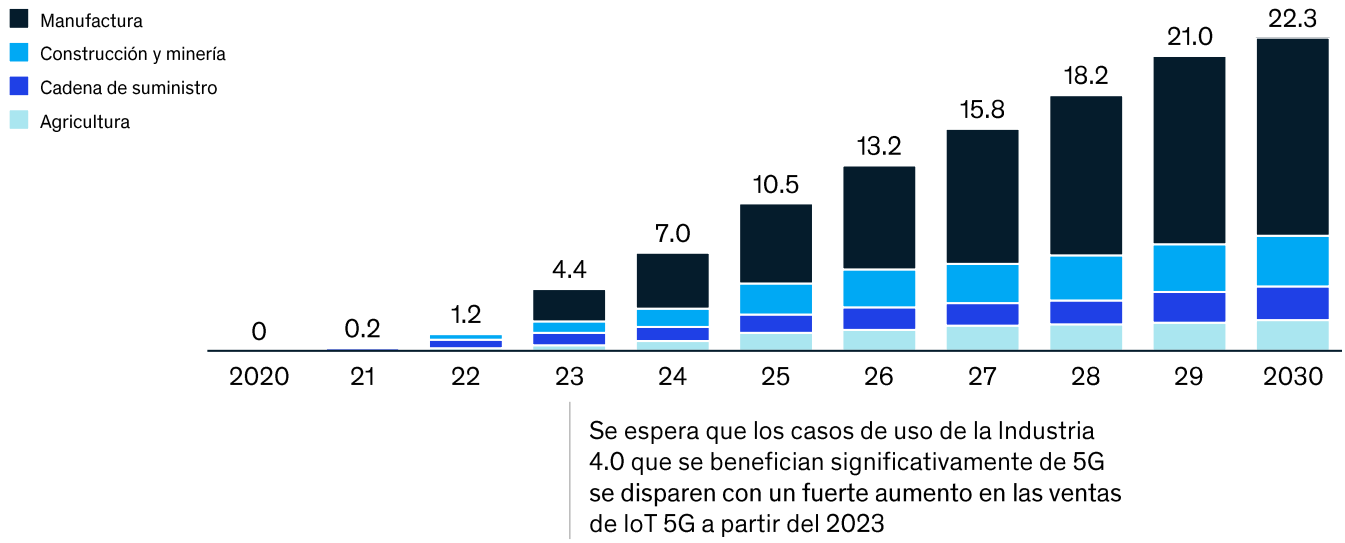
III. El estándar 5G les ofrece a los fabricantes una solución de conectividad en situaciones en las que las alternativas actuales fallan

Para los fabricantes que se están pasando a la Industria 4.0, el estándar 5G ofrece oportunidades a corto plazo relevantes para el IIoT. Mediante este significativo progreso en el rendimiento, las fábricas y las plantas pueden superar la alta interferencia inherente a las zonas de producción previas a la Industria 4.0. Como resultado, se espera que la manufactura sea responsable de más de la mitad de todas las ventas de 5G para casos de uso en los que la tecnología 5G trae beneficios significativos (Ilustración 3).

Ilustración 3

Entre los casos de uso que se beneficien significativamente del 5G dentro de la Industria 4.0, la mayoría de las unidades de IoT 5G que se vendan estarán relacionadas con la manufactura

Proyección de la venta de unidades de IoT 5G para aplicaciones en la Industria 4.0 (solo casos de uso empresa-empresa con beneficios significativos de 5G), millones de unidades



Se espera que los casos de uso de la Industria 4.0 que se benefician significativamente de 5G se disparen con un fuerte aumento en las ventas de IoT 5G a partir del 2023

Fuente: Análisis de McKinsey

Algunos de los casos de uso más impresionantes sobre el estándar 5G en manufactura son los vehículos autónomos y el control de procesos en tiempo real. Hoy día, los vehículos autónomos funcionan, por lo general, por wi-fi y dependen de un software alojado en la máquina para manejar la orientación y la ejecución de tareas. El estándar 5G permitiría una conectividad significativamente mejor con el edge o con la nube, para compartir datos entre los vehículos y las flotas coordinadoras en tiempo real, permitiéndoles liberarse así de caminos fijados en el entorno siempre cambiante del taller. Como beneficio adicional, el estándar 5G también aumenta la fiabilidad al ofrecer conectividad fluida a medida que los vehículos de guiado automático se mueven por la fábrica y se desplazan entre los puntos de acceso o radios. En lo que se refiere al control de procesos en tiempo real, durante años ha sido posible utilizar controladores y sensores conectados por cable; sin embargo, la tecnología 5G abre un nuevo espacio de solución al ayudar a conectar de forma relativamente fácil módulos para realizar análisis focalizados e impulsados por sensores; esto es particularmente impactante en antiguas maquinarias *brownfield*, cuyos sistemas de control y potencia pueden ser más antiguos y menos adaptables a las tecnologías modernas.

1.2. Al aprovechar una red troncal habilitada por IIoT, las plantas de la Global Lighthouse Network logran resultados significativos en sus indicadores de desempeño

A más del 70 por ciento de las compañías les parece difícil implementar y escalar tecnologías avanzadas de una forma que produzca a cambio una mejora significativa en los indicadores de inversión o los indicadores claves de desempeño (KPI, por sus siglas en inglés). Desde el 2016, el Foro Económico Mundial, en colaboración con McKinsey, se embarcó en un esfuerzo para identificar a los líderes en la adopción de las tecnologías de la Industria 4.0 y construir una red con estos faros de éxito. El propósito ha sido identificar prácticas y generar percepciones que acelerarían la adopción de tecnologías de manufactura avanzadas. En el 2018 se examinaron más de 1.000 instalaciones de producción y se reconocieron 16 compañías consideradas líderes en manufactura avanzada. Estos líderes demuestran significativos resultados en indicadores operativos y financieros. En el 2019 se incluyeron 28 instalaciones adicionales a lo que se conoce ahora como la *Global Lighthouse Network*, y en el 2020 se incluyeron 10 fábricas más.

Lo que tienen en común desde el punto de vista tecnológico estos 54 faros del Foro Económico Mundial es un sistema operativo innovador, cuya red troncal es una plataforma integrada de IIoT, que apoya y facilita la integración entre los procesos de negocio y los sistemas de gestión. La manera de trabajar de estos faros suele ser crear un producto mínimo viable del sistema operativo de IIoT, el cual se puede replicar y escalar después a lo largo de la compañía. En la medida en que estos faros trabajan primero hacia un producto mínimo viable, la agilidad de los procesos facilita iteraciones desde muy temprano, antes de que haya que invertir recursos a nivel de toda la compañía.

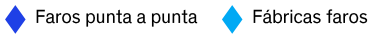
La infraestructura de IIoT y la forma ágil de trabajar facilita así que las fábricas faro agreguen nuevos casos de uso en un tiempo muy corto y a un coste mínimo. Como resultado, muchos faros tienen una amplia gama de casos de uso avanzados desplegados a lo largo de la cadena de abastecimiento, tales como desarrollo, planificación y entrega del producto de extremo a extremo; conectividad con el cliente y sostenibilidad facilitada digitalmente. Lo que tienen en común todos estos casos de uso es la integración continua de múltiples sistemas de IT, tales como la planificación de recursos empresariales (ERP, por sus siglas en inglés), la gestión del ciclo de vida del producto y la gestión de operaciones de fabricación (MOM, por sus siglas en inglés). Con frecuencia, MOM se usa de manera intercambiable con MES, que se refiere a los sistemas de ejecución de la fabricación (para más detalles, consultar el Glosario).

El impacto logrado por los fabricantes de la *Global Lighthouse Network* está muy por encima de lo que hacen sus competidores. Los faros fueron clasificados como fábricas —confinadas dentro de cuatro paredes— o como instalaciones de extremo a extremo, las cuales logran impacto a lo largo de sus cadenas de valor. Un ejemplo del nivel de la fábrica es el de una fábrica de semiconductores de Singapur, que logró una disminución de 22 por ciento en la producción de residuos como resultado de su fábrica inteligente facilitada por IIoT. Otro ejemplo, esta vez de un faro de extremo a extremo, es una planta de producción de lentes de contacto cuya automatización del proceso avanzado facilitada por IIoT llevó directamente a un porcentaje de disminución de dos dígitos en los costes. El impacto que muestra la Ilustración 4 presenta el desempeño de los 54 faros, resumiendo el impacto financiero y operativo observado en la *Global Lighthouse Network*[4].

Por último, habrá ganadores y perdedores a medida que siga el cambio hacia la Industria 4.0. La velocidad de adopción de la tecnología ha mostrado ser la variable que pone distancia entre los líderes, los seguidores y los rezagados, en una escala en la que los líderes son los primeros en adoptar las nuevas tecnologías. En el 2018, un análisis del McKinsey Global Institute proyectaba una notoria brecha entre las compañías que adoptan y asimilan la IA dentro de los primeros 5 a 7 años y aquellas que se quedan rezagadas (Ilustración 5). Los líderes, es decir, aquellos que han adoptado tecnologías de IA, pueden esperar un cambio acumulado en el flujo de caja de 122 por ciento, mientras que los seguidores tal vez solo vean un cambio del 10 por ciento en el flujo de caja. Peor aún, se espera que las empresas que no adopten tecnologías de IA durante el horizonte de 5 a 7 años vean un cambio negativo en el flujo de caja de 23 por ciento.

4 Al contener desarrollo de software, seguridad IT y operaciones IT, “DevSecOps” expande el enfoque establecido de DevOps con el importante factor de la ciberseguridad; para más detalles, véase el Glosario. “for a great reset in manufacturing”, Foro Económico Mundial, septiembre 2020, https://www.weforum.org/whitepapers/global-lighthouse-network-four-durableshifts-s for-a-great-reset-in-manufacturing.

Los faros globales logran diferentes grados de mejora en el desempeño operativo y financiero - tanto a nivel de la fábrica como a nivel de extremo-a-extremo y a lo largo del espectro de indicadores



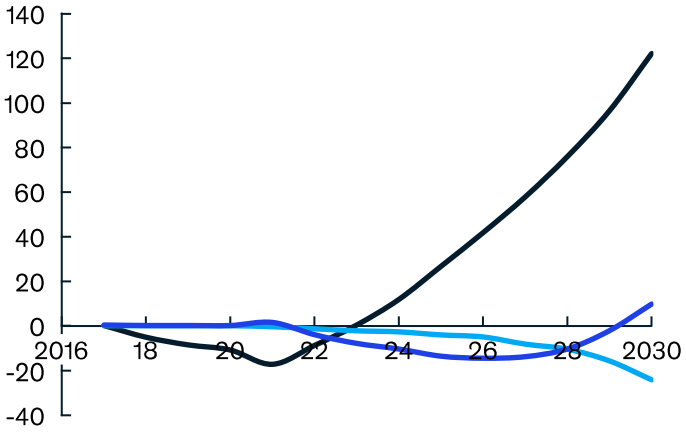
Mejoras KPI		Rango de impacto observado
Productividad	Aumento en la producción de la fábrica	4–200%
	Aumento de la productividad	5–160%
	Aumento general de la efectividad del equipo	3–90%
	Reducción en el coste del producto	5–40%
	Reducción del coste operacional	2–45%
	Reducción del coste de calidad	5–90%
Sostenibilidad	Reducción de deshechos	2–90%
	Reducción en el consumo de agua	10–30%
	Eficiencia energética	1–50%
Agilidad	Reducción del inventario	10–90%
	Reducción del tiempo de entrega	7–90%
	Reducción del tiempo de conversión	30–70%
Velocidad al mercado	Reducción de la velocidad al mercado	30–90%
	Reducción del tiempo de iteración del diseño	15–66%
Personalización	Aumento de la precisión de la configuración	15–20%
	Reducción del tamaño de los lotes	55–98%

Fuente: Foro Económico Mundial; McKinsey

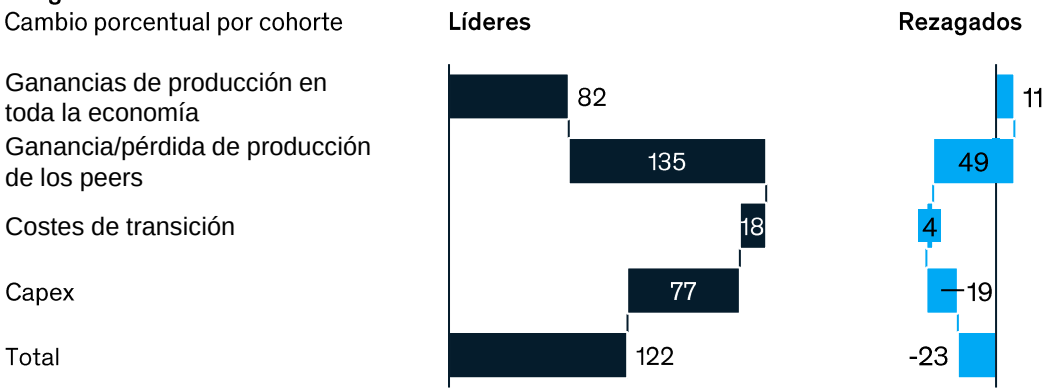
Ilustración 5

Simulación

Cambios relativos en el flujo de efectivo en función de la cohorte de adopción de AI
Cambio porcentual por cohorte, acumulativo



Desglose
Cambio porcentual por cohorte



Nota: Los números son cifras simuladas para proveer perspectivas direccionales y no una proyección

Fuente: McKinsey Global Institute

2 Las compañías de manufactura deberían continuar comprometidas con la innovación digital... y revaluar sus iniciativas digitales

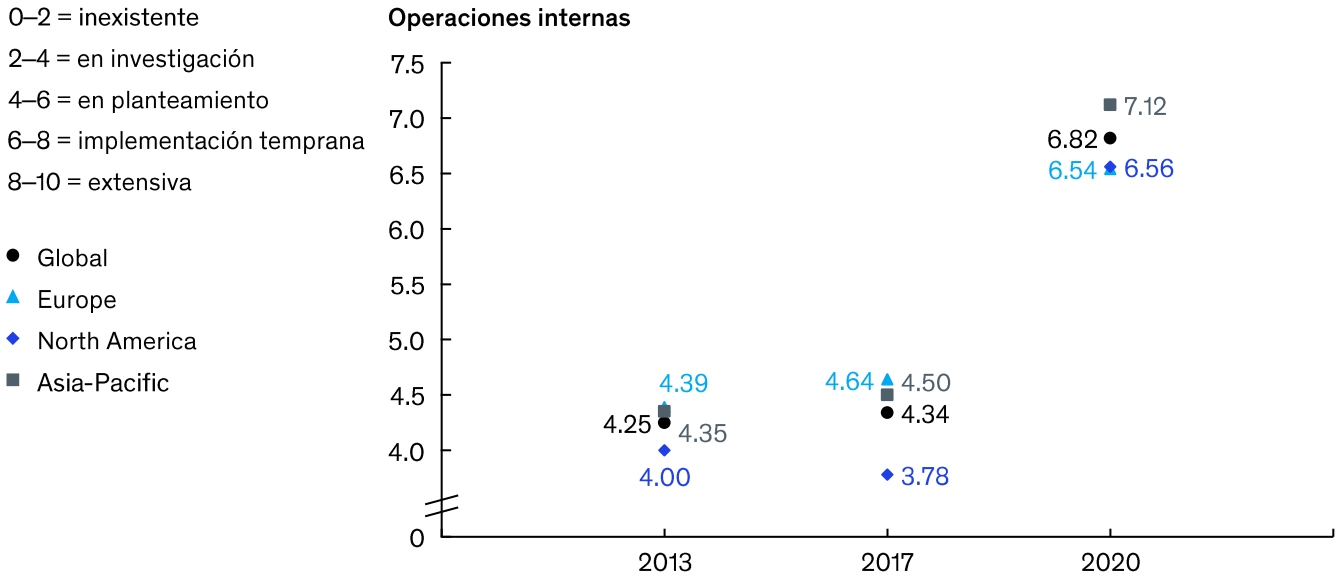
Tal como lo demuestran los ejemplos de los faros, las soluciones de IIoT y manufactura digital pueden representar importantes palancas para que las empresas mejoren su rentabilidad futura y su competitividad. Lo que también empieza a volverse claro es que, debido a la creciente importancia de los datos y la interconectividad, esperar a que aparezca una tecnología menos costosa y mejor no será una buena estrategia, pues se espera que los líderes capturen los beneficios más grandes. Las compañías, en especial aquellas que se quedan estancadas en la "trampa" de los proyectos piloto, deberían revaluar rápidamente sus iniciativas digitales y definir un programa de transformación digital exhaustivo que permita crear valor a escala.

Para motivar a las compañías de manufactura y ofrecer unas guías generales, a continuación, presentamos seis percepciones de por qué la innovación digital es importante, lo que deben tomar en consideración esas compañías y qué deben hacer en este contexto:

La adopción de tecnologías IIoT es real, da frutos y ayuda a los fabricantes a mantenerse relevantes (digitalmente)
Aunque vemos señales de que la adopción de las tecnologías de IIoT ha sido más lenta de lo esperado, no obstante, es real y cada vez es más extendida (Ilustración 6). En la medida en que se espera que para el año 2025 la manufactura digital capture una parte significativa del mercado general de IoT, es evidente que se pueden obtener grandes ganancias.

La adopción de IIoT está ganando impulso

Cómo ha progresado el IIoT Business Index
Avances en la adopción de IIoT para 2013-20



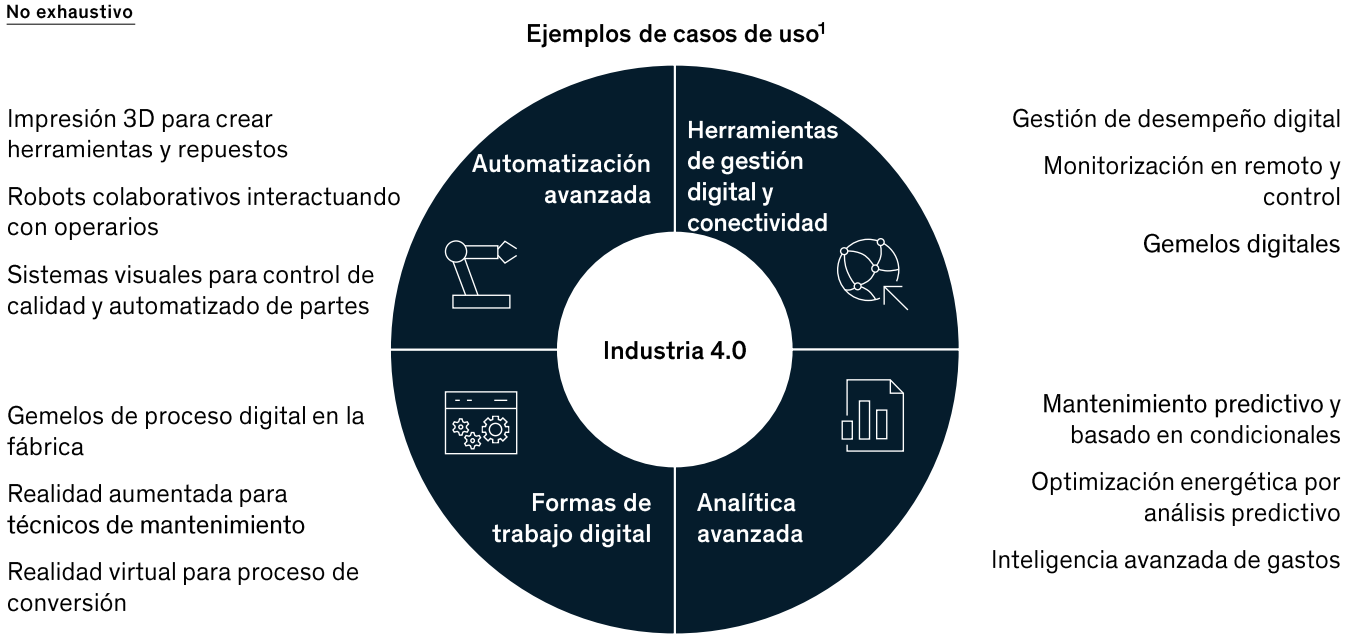
Fuente: Economist Intelligence Unit

Este valor —una parte significativa del cual será atribuible a ganancias sustanciales en eficiencia (véase el capítulo 1.2 y la Ilustración 4)— es alcanzable para empresas industriales de cualquier tamaño que estén dispuestas a comprometerse con la innovación digital y apalancar las tecnologías centrales de la Industria 4.0 que facilitan numerosos casos de uso disponibles en distintas industrias (Ilustración 7).

Ilustración 7

Las tecnologías principales de la Industria 4.0 ya permiten una multitud de casos de uso en las distintas industrias

No exhaustivo



1. La biblioteca de casos de uso digitales de McKinsey actualmente comprende 300+ casos de uso a través de las industrias

Fuente: McKinsey

Además de promover la eficiencia e impulsar la innovación, las transformaciones de IIoT en la manufactura son también esenciales porque la integración y los ecosistemas requieren que las empresas industriales se unan a la tendencia y se pongan al día: si una organización lleva a cabo una transformación de IIoT, todas las demás tienen que seguir el ejemplo para mantener su relevancia[5]

Ninguna aplicación individual impulsará un crecimiento muy grande, la ejecución amplia es clave. El gran crecimiento no será impulsado por ninguna aplicación individual; el crecimiento del IIoT será impulsado a través de una huella de aplicaciones que por lo general arrojarán USD $10 a 100 millones en ingresos. En otras palabras, ningún caso de uso de IIoT es una solución milagrosa a escala, de forma que la ejecución amplia (es decir, implementar múltiples casos de uso y lograr que estos escalen con el tiempo) es más importante que elegir el caso de uso óptimo. El ejemplo de los faros del Foro Económico Mundial muestra qué mejoras sustanciales en el desempeño en operaciones son posibles en términos de la productividad, la sostenibilidad, la agilidad, la velocidad de mercado y la customización.

El cambio hacia la manufactura avanzada aumenta significativamente la resiliencia de los empresarios del sector de la manufactura.
Las disrupciones como la causada por la pandemia de la covid-19 demuestran la importancia de seguir y, en algunos casos, acelerar los cambios continuos hacia la manufactura avanzada. Esto es especialmente cierto en las áreas de la planificación digital y la gestión de herramientas y trabajadores conectados y digitalizados:

— **Planificación digital y gestión de herramientas.** La crisis mostró que las operaciones digitalizadas pueden reaccionar a los cambios más rápido y mejor, como con herramientas de planificación digital de extremo a extremo, que permiten que las compañías ajusten la capacidad de producción de forma temprana y rápidamente.

— **Trabajadores conectados y digitalizados.** Los altos niveles de digitalización contribuyeron a la resiliencia durante la primera fase de la pandemia de la covid-19 debido a la mayor capacidad de operar a distancia.

5 Para mayor información, véase: Agustin Gutierrez, Ashish Kothari, Carolina Mazuera y Tobias Schoenherr, “Taking supplier collaboration to the next level”, McKinsey & Company, julio 7, 2020, https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/taking-supplier-collaboration-to-the-next-level.

Para los fabricantes que están a la cabeza del IIoT, la pandemia puso a prueba y bajo gran presión sus operaciones digitales, de una manera que nunca antes se había visto y presentó la oportunidad de revelar lecciones futuras a aprender.

Hay factores claves de éxito universalmente relevantes tanto en las dimensiones del negocio, como en la organización y la tecnología...
Para escapar de la "trampa" de los proyectos piloto y permitir el escalado, las empresas manufactureras necesitan revaluar de manera fundamental sus iniciativas digitales, trabajando en múltiples dimensiones — negocio, organización y tecnología— simultáneamente y con el compromiso total del nivel de la dirección ejecutiva. Solo para ofrecer un ejemplo, aunque las barreras tecnológicas (tales como sistemas técnicos, aplicaciones y equipo de las plantas que no funcionan con el mismo sistema operativo) son una razón importante de la incapacidad de las empresas industriales de escalar sus programas piloto, las barreras organizacionales son un desafío todavía mayor. El cuadro 2 resume las lecciones claves que McKinsey ha aprendido de las transformaciones digitales.

El alcance y la amplitud de las industrias manufactureras representadas en la *Global Lighthouse Network* subraya una observación básica: que los factores claves de éxito identificados en sus contextos (específicos) de manufactura tienen una relevancia casi universal[6].

... y ofrecemos un enfoque integrado probado para impulsar una transformación de extremo a extremo.
El enfoque estructurado de los Servicios de Transformación Digital, el cual se explica en la parte B de este informe, presenta una guía lista para usar sobre el desarrollo de la planificación holística y la arquitectura IoT para escalar los casos de uso digitales en todas las organizaciones.

Cuadro 2: Lecciones clave de los Servicios de Transformación Digital de McKinsey

Negocio	– Las transformaciones digitales deben ser dirigidas por las empresas con una mentalidad de retorno de la inversión; no son sencillamente otro proyecto de IT. – Un enfoque integrado a través de diferentes pasos de la cadena de valor, incluyendo proveedores y clientes, entrega el mayor valor. – No hay un "remedio mágico": el impacto vendrá de un portafolio más amplio de casos de uso (soluciones, aplicaciones); pero para alcanzar un impacto a escala, estos tienen que ser organizados en campos y priorizados de manera *top-down* para abordar los de mayor valor primero.
Organización	– Las transformaciones digitales son viajes de varios años, de toda la empresa que deben ser dirigidos desde lo más alto y exigen un motor de transformación central. – Enfoques innovadores de creación de capacidad digital permiten mejorar rápidamente las cualidades profesionales de miles de empleados – además de contratar y mantener el talento adecuado. – Las compañías líderes rápidamente cambian su manera de operar al lanzar *sprints* ágiles y al mismo tiempo diseñar e implementar soluciones enmarcadas por la gobernanza holística fomentando los resultados empresariales que se han propuesto.
Tecnología	– La infraestructura de IIoT necesita ser diseñada radicalmente para ser a prueba del futuro, es decir, expandible a sitios y funciones, asequible y segura. – Las compañías líderes construyen alianzas estratégicas con jugadores tecnológicos clave.

6 Para mayor información sobre los cinco principios para escalar la manufactura digital, véase: Enno de Boer, Søren Fritzen, Rehana Khanam y Frédéric Lefort, "Preparing for the next normal via digital manufacturing's scaling potential", McKinsey & Company, abril 10, 2020, https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/preparing-for-thenext- normal-via-digital-manufacturings-scaling-potential.

Aunque hay empresas que están a la cabeza y pueden servir de modelo, sigue siendo una carrera de todos.

Los faros sirven de modelo de transformaciones digitales exitosas —facilitando la creación de valor a escala— y están liderando el camino al demostrar cómo reimaginar y reequilibrar las operaciones en la nueva normalidad de la manufactura digital. No obstante, aunque esas empresas son las líderes actuales, ni siquiera los faros han llegado al final de sus experiencias de transformación; solo están empezando a liberar el verdadero potencial de las tecnologías de la Industria 4.0.

A la vista de esto, una cosa es obvia: las empresas manufactureras deben revaluar sus iniciativas digitales ahora. En sus esfuerzos para definir un programa de transformación digital amplio que permita crear valor a escala, podemos esperar que estas se beneficien del “marco de éxito” sintetizado que presenta y explica este informe en su parte B.

Parte B: *Framework* para el éxito en la captura de valor a escala basada en IIoT

Las transformaciones digitales sostenibles y escalables en empresas manufactureras discretas y de procesos (para información sobre las similitudes y diferencias relevantes de los dos sectores en este contexto, véase el Cuadro de texto 2) son esfuerzos ambiciosos, que se centran fuertemente en el compromiso de toda la organización. Aunque la implementación de los casos de uso iniciales se puede hacer, por lo general, en cerca de 6 a 8 semanas, una transformación holística tomará de dos a tres años hasta completarse (dependiendo del alcance y el tamaño de la empresa), siguiendo tres fases y conjuntos de acciones (Ilustración 8):

— **Construir una hoja de ruta de referencia y valor.** Identificar el potencial total del negocio, creando una hoja de ruta de transformación de las palancas digitales y operativas, respaldada por facilitadores organizacionales y de tecnología.

— **Movilizar la organización.** Movilizar la organización para desarrollar un plan de transformación detallado, con iniciativas *bottom-up* que sean de propiedad exclusiva de los líderes de línea.

— **Llevar a cabo una implementación ágil.** Realizar una serie de *sprints* de implementación (mientras se actualiza continuamente el backlog con nuevos elementos para trabajar). Lanzar un esfuerzo a gran escala para llevar valor al resultado final, y escalar e institucionalizar las formas de trabajo.

Cuadro de texto 2: Similitudes y diferencias entre empresas de manufactura discreta y de procesos, en relación con las transformaciones digitales sostenibles y escalables

En general, se puede decir que la industria de procesos y la industria discreta tienen una arquitectura de referencia muy similar en la nube y las variaciones empiezan a aparecer en el uso de los dispositivos periféricos, y se vuelven más fuertes cuanto más se acercan al taller. Las diferencias locales entre fabricantes discretos y de procesos se pueden describir en detalle de la siguiente manera[7]:

Características relevantes de la industria de procesos

— **Disponibilidad de datos.** La disponibilidad de datos en la industria de procesos ya está avanzada debido a su grado históricamente alto de sensorización, cableado y centralización en salas de control, con sistemas de control distribuidos y sistemas de control de supervisión y adquisición de datos para procesos de dirección y equipo pesado a través de operadores. En todo momento están disponibles cientos de miles de variables y los operadores pueden visualizar en pantallas los datos claves. Tanto los valores analógicos en tiempo real como los valores discretos de encendido/ apagado están disponibles.

— **Recopilación y almacenamiento de datos.** En la industria de procesos, todos los datos de procesos y máquinas se registran por lo general en sistemas de historiadores de plantas con marcas de tiempo. Los historiadores de plantas cumplen una función similar a la de una caja negra en un avión, lo que permite el análisis forense en caso de problemas. Así, la industria de procesos tiene las condiciones ideales para el desarrollo y la formación de algoritmos y para la creación de IA, dado su completo y detallado almacenamiento masivo de datos.

Características relevantes de la industria discreta

— **Disponibilidad de datos.** En la manufactura discreta, los sensores internos de la máquina suelen estar cableados y solo producen datos que la misma máquina procesa; rara vez hay salas de control. Las máquinas se controlan localmente mediante controladores lógicos programables (PLC, por sus siglas en inglés). Si estos están interconectados, solo se intercambian datos relevantes entre ellos. Normalmente, los datos no se registran por mucho tiempo, a menos que sean relevantes para la inspección de calidad o para el seguimiento de los pasos de producción. El valor del almacenamiento de datos integral y completo solo se ha entendido recientemente, y algunas plantas discretas están adoptando ahora una rutina completa de registro de datos. Por lo general las complicaciones surgen de los fabricantes de máquinas, que consideran los datos de las máquinas un secreto comercial y no están dispuestos a abrir interfaces, aunque los estándares abiertos están cambiando esta situación gradualmente.

7 Para un mayor detalle sobre las características de la manufactura discreta versus la de procesos, véase el Cuadro 7.

— **Recopilación y almacenamiento de datos.** Dada la menor disponibilidad de datos que caracteriza en general a la manufactura discreta, la recopilación y el almacenamiento de datos resultan ser tareas más complicadas y, por lo tanto, menos comunes. Aunque está aumentando la conciencia de la importancia de la captura de datos integral, el proceso actual de obtención de datos aún depende en gran medida del caso de uso específico, lo cual crea, a su vez, conjuntos de datos muy especializados. La capacidad de generar una base de datos de un caso de uso independiente que podría facilitar casos de uso de valor agregado más complejos en el futuro —como la optimización del rendimiento en varias máquinas o la interacción inteligente entre máquinas— es, por lo tanto, limitada.

Una vez dicho esto, independientemente de si los casos de uso se van a implementar en organizaciones de manufactura de procesos o discreta, hay que focalizar los mismos siete procesos habilitadores en las áreas de negocio, organización y tecnología para crear plataformas sustentables, factibles y escalables.

Las industrias de procesos ya han adoptado con éxito modelos de optimización en tiempo real basados en IA, aumentando el rendimiento a través de una operación más inteligente de procesos y maquinaria pesada. En el caso de las máquinas discretas, también se han probado a nivel local optimizadores de inteligencia en tiempo real, lo cual ha llevado, por ejemplo, a ahorros de energía y a una mayor capacidad de adaptación a los cambios en las condiciones, mediante la aplicación de algoritmos de aprendizaje automático en modo de circuito cerrado. Por lo general, las aplicaciones inteligentes operan en la periferia, con interconectividad a través de marcos de comunicación modernos con sistemas de control distribuido, control de supervisión y sistemas de adquisición de datos, o los PLC de las máquinas de la fábrica local.

Las transformaciones digitales completas típicamente duran 2-3 años desde el punto de partida hasta el impacto de pérdidas y ganancias

Actividades discutidas en los Capítulos 1.1 - 3.3

¿Cómo de buenos podemos ser?	¿Cómo llegamos allí?	¡Hagámoslo realidad!	
1. Construir una hoja de ruta de referencia y valor	**2. Movilizar la organización**	**3. Llevar a cabo implementación ágil**	**Ganancia y pérdida**
Identificar el potencial total del negocio, creando una hoja de ruta de transformación de las palancas digitales y operativas, respaldada por facilitadores organizacionales y de tecnología	Movilizar la organización para desarrollar un plan de transformación detallado, con iniciativas bottom-up que sean de propiedad exclusiva de los líderes de línea	Llevar a cabo una serie de sprints de implementación (con actualización continua del backlog) Lanzar un esfuerzo a gran escala para llevar valor al resultado final, y escalar e institucionalizar las formas de trabajo	
Diagnóstico: "medir el precio" Duración: ~6–8 semanas	**Diseño:** "Detallar iniciativas" Duración: ~6–10 semanas	**Sprints de transformación mensuales:** "Impulsar el impacto" Duración: 18–36 meses	

Empresas (manufactura)

1.1 Identificación de casos de uso y priorización	Generar una lista de casos de uso	Establecer casos de éxito para plantillas maestras	
	Clasificar, calificar y priorizar los casos de uso		
1.2 Aplicación e implementación en la planta		Establecer una lógica de lanzamiento orientada al valor	
		Empezar a reunir y acumular información	
		Establecer los procesos para el lanzamiento	

Organización

2.1 Captura de valor: gestión del cambio y del rendimiento	Definir una hoja de ruta general	Implementar una gestión consistente de las desviaciones	
	Establecer una organización de captación de valor		
2.2 Creación de capacidad y una nueva forma de trabajar	Identificar y rellenar las brechas de habilidades		
		Establecer cambios organizacionales estructurales e implementar una nueva manera de trabajar	
			Gestionar las transiciones de roles e implementar un proceso de cambio

Tecnología

3.1 Infraestructura de IIoT y datos: diseño de la plataforma central (incluyendo ciberseguridad de IT-OT)	Evaluar completamente la configuración actual de la fábrica, tanto en OT como IT	Crear la arquitectura de los objetivos futuros para posibilitar los casos de uso	
		Seleccionar un socio en vez de un vendedor para implementar la plataforma	
		Gestionar efectivamente los retos de ciberseguridad en la convergencia IT-OT	
3.2 Plataforma IIoT: El imperativo de la nube en manufactura		Hacer que la nube se amortice en el corto plazo	Gestionar y controlar con cuidado la transformación de la nube
			Establecer un equipo de infraestructura que pueda operar de forma similar al equipo de desarrollo de una app
3.3 Ecosistema tecnológico	Entender los elementos claves de un ecosistema sostenible	Elegir a los socios adecuados para lograr una diversidad de socios balanceada	
		Implementar desarrollo empresarial para gestionar el ecosistema complejo	

Fuente: McKinsey

Para proporcionar información pragmática y procesable, este informe se centrará en siete procesos facilitadores clave dentro de estas fases, en las áreas de negocio, organización y tecnología.

Desde la perspectiva del negocio, la identificación de casos de uso (para una definición de "caso de uso" véase el cuadro de texto 3) desde un punto de vista *top-down*, más un plan de acción para el despliegue de la planta, son indispensables para definir los objetivos y el camino a seguir. Una vez se hayan identificado los casos de uso aplicables, se puede crear una hoja de ruta de implementación que vaya de la mano con el plan de despliegue de la planta. Capturar el valor de las soluciones implementadas —lo cual depende notoriamente de las formas de trabajo y capacidades recién establecidas— es parte del pilar organizativo de la plataforma de IIoT. Dentro de la dimensión tecnológica, se desarrolla el diseño requerido de la plataforma IIoT, haciendo un uso intensivo de las ofertas de tecnología existentes en el *stack* de tecnología IIoT, y se gestiona la transformación necesaria de la nube. Además, se crea un diseño de ecosistema que se centra en las operaciones y la gestión del ciclo de vida del sistema IIoT en su conjunto.

Por diversas razones, puede ser grande la tentación de seleccionar procesos habilitadores individuales. Sin embargo, en la práctica, el objetivo general debe ser una transformación digital global y holística de toda la organización manufacturera. De esta manera, se podrán lograr efectos significativamente más grandes y sostenibles.

1 Negocio (manufactura)

1.1. Identificación y priorización de los casos de uso

El proceso de identificación y priorización de los casos de uso (para una definición de este término clave véase el cuadro de texto 3) consta de tres pasos. El proceso también es iterativo en el sentido que, si surge nueva información en un paso, los pasos anteriores se revisarán y se realizarán los cambios correspondientes, como puede ser agregar nuevos casos de uso o cambiar el nivel de prioridad de los existentes.

Cuadro de texto 3: Definición de "caso de uso"

Un caso de uso de IIoT digital y analítico resuelve un problema para el usuario o aumenta la productividad, la eficiencia y la conveniencia, principalmente con la ayuda de un software especial. Se diferencia con medidas o actividades normales de mejora continua" en función de los siguientes criterios:

- Tiene un tamaño significativo.
- Es medible en términos de impacto.
- Requiere inversión y esfuerzo discreto.
- Requiere una decisión para avanzar y asignar recursos.

Paso 1: Generar una lista completa de casos de uso de forma que combine enfoques *top-down* y *bottom-up.*

Es necesario generar una lista completa y calificada de casos de uso utilizando enfoques tanto *top-down* como *bottom-up*.

Enfoque *top-down / outside-in*. Las bibliotecas de casos de uso contienen estudios de casos de mejores prácticas y ejemplos de industrias o funciones iguales o similares dentro de la organización[8]. El enfoque *top-down* selecciona casos de uso potencialmente adecuados de estas bibliotecas como punto de partida. Después de un proceso iterativo de evaluación y selección, los ejemplos de casos de uso elegidos serán implementados directamente o utilizados como referencia.

Enfoque *bottom-up / inside-out*. Este enfoque comienza con un análisis de los problemas existentes en los procesos (físicos) reales (por ejemplo, cuellos de botella). Después de observar el comportamiento del usuario a través de diagnósticos y evaluaciones de campo, se identifican oportunidades de mejora. A continuación, los problemas se pueden definir y se pueden realizar ejercicios de creatividad para la resolución de problemas. Luego se definen los casos de uso y se ofrecen prototipos de las soluciones posibles. Por último, se documentan, se codifican y se agregan a la biblioteca los casos de uso exitosos, para poderlos replicar.

Cuando se utiliza el enfoque *bottom-up*, los casos de uso siempre se deben basar en KPIs operativos que coincidan con necesidades empresariales reales, con el fin de garantizar que se están abordando problemas importantes. Para concebir cambios a largo plazo y más drásticos, en lugar de cambios incrementales, se debe seguir un enfoque de hoja en blanco.

Paso 2: Catalogar, calificar y priorizar los casos de uso

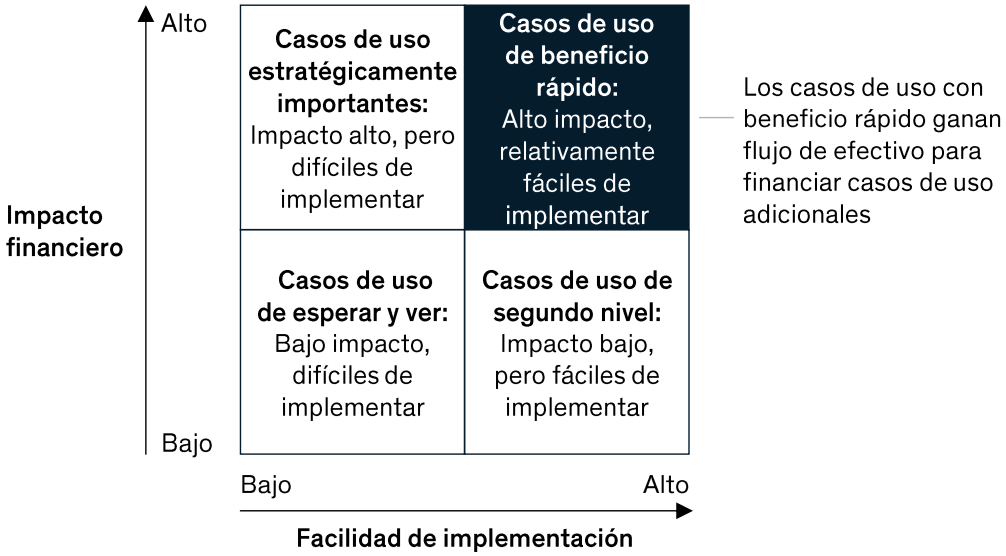
Después de que se haya generado una completa lista inicial de casos de uso, se deben analizar y determinar el impacto y la aplicabilidad de cada caso de uso, a fin de derivar un subconjunto priorizado.

Por lo general el impacto se cuantificará en términos del impacto financiero esperado de un caso de uso, es decir, exactamente cuánto se logrará en ahorros de costes incrementales o mejoras de ganancias al realizar el caso de uso. Luego, los casos de uso se pueden priorizar aún más, de acuerdo con la facilidad de implementación. Para llegar ahí, hay que calcular el esfuerzo total y la inversión financiera asociados con la realización del caso de uso, así como la complejidad que este implica. Por último, los casos de uso se deben mapear en una matriz y agrupar según su facilidad de implementación e impacto financiero (Ilustración 9).

8 Por ejemplo, la biblioteca de casos de uso digitales de McKinsey contiene actualmente más de 300 casos de uso de distintas industrias.

Ilustración 9

Priorización de casos de uso por impacto financiero y facilidad de implementación



Fuente: McKinsey

Este mapeo debe proporcionar una guía inicial sobre el atractivo relativo de cada caso de uso. Primero se deben explorar los casos de uso relativamente fáciles de implementar y con alto impacto. El otro extremo son los casos de uso que son difíciles de implementar y que, además, solo tendrían un impacto financiero bajo. No obstante, estos casos de uso no se deben descartar ni cancelar pues pertenecen a la categoría de “esperar a ver”. Teniendo en cuenta los rápidos avances en tecnología, la implementación podría ser mucho más fácil en dos años a partir de ahora, a medida que vayan cambiando las circunstancias.

Los casos de uso que son más difíciles de implementar pero que, sin embargo, tienen un alto impacto pertenecen a la categoría “estratégicamente importantes”. Las empresas que logran "descifrar el código" y son pioneras en tales casos de uso pueden cosechar los beneficios de ser los primeros, mejorando su posición competitiva. Los casos de uso que son relativamente fáciles de implementar, pero producen un bajo impacto se pueden adelantar de todas maneras, pero como esfuerzos de segundo nivel, después de que se hayan ejecutado los casos de uso más impactantes.

Una vez que se ha aplicado este primer filtro de priorización, se deben identificar los casos faro para proyectos iniciales escalables dentro de los casos de uso de primera prioridad. Dada la naturaleza técnica de la mayoría de los casos, los resultados serán moldeados por criterios técnicos estrictos y criterios culturales o de conocimiento más flexibles. En la Ilustración 10 se proporciona un ejemplo de este enfoque combinado.

Criterios de evaluación para casos de uso

Los criterios estrictos y los flexibles guiarán la evaluación de los casos de uso en la 1ra ronda

Ilustrativo

	Criterios de selección indicativa	No OK	OK	Bueno	Ideal	Descripción del ideal
Oportunidades	**Tamaño de oportunidad:** ¿Cómo de grande es la oportunidad?				✓	Impacto monetario sustancial (en línea con la estrategia de optimización)
	Disponibilidad de datos: ¿Tenemos suficientes datos brutos con el suficiente detalle?			✓		Datos ya disponibles, no fragmentados para las variables clave del año anterior
	Condiciones de las máquinas: ¿Deberíamos planear reparaciones, mantenimiento o apagones más largos dentro de próximo año?			✓		No se necesitan mayores mantenimientos ni apagones durante el piloto
Cultura	**Experiencia de innovación:** ¿Hay experiencia previa en proyectos de desarrollo de tecnología (por ejemplo, lógica difusa, big data) y esfuerzos de transformación (por ejemplo, mantenimiento)?			✓		Ingenieros/operadores ansiosos por aprender, desarrollar e innovar Experiencia con proyectos digitales/de innovación previos
	Capacidad de ingeniería: ¿Hay capacidad sobrante para una prueba analítica *in situ*?			✓		Ingenieros de producción, IT/OT/ gestores de automatización disponibles
	Factor del efecto faro: ¿Cómo de visible e impactante será el éxito de un faro?				✓	La fábrica es considerada un “punto de referencia” para la organización (en términos de competencia técnica, experiencia, etc.)

Fuente: McKinsey

Paso 3: Establecer los casos faro para las plantillas maestras

En esta etapa, los casos de uso se deben analizar en términos de su potencial de replicabilidad en toda la red de la planta. Si bien algunos casos de uso serán “únicos”, otros serán replicables al menos una vez, y algunos serán potencialmente replicables varias veces.

En tales casos, un caso faro general es un buen comienzo: sirve para resolver un problema particular por primera vez. Desde el principio, la mentalidad del equipo debe centrarse no solo en la implementación técnica, sino en invertir tiempo en codificación, formación, tutoriales y otros mecanismos de apoyo para facilitar el escalamiento rápido y la aplicación en otras plantas y ubicaciones. Por lo tanto, el proyecto inicial escalable requerirá algunos gastos adicionales de tiempo y esfuerzo, pero ofrecerá la recompensa de una adopción rápida y la replicabilidad del caso de uso específico para otras ubicaciones y situaciones en toda la red de la planta.

1.2 Aplicación e implementación en la planta

Hemos identificado, priorizado y clasificado los casos de uso según el número de posibles implementaciones en toda la red de la planta. La siguiente fase es el desarrollo de una hoja de ruta de implementación para la adopción de casos de uso. El proceso comprende la secuencia fija de tres pasos que se describe a continuación y tiene en cuenta los siguientes criterios:

— Máximo impacto en las ganancias en un mínimo de tiempo - locales y consolidadas.

— Recursos y habilidades disponibles, así como empleados que habrá que contratar y capacitar.

— El flujo lógico de realización del impacto, dadas las restricciones fiscales, legales y otras limitaciones estructurales.

— Presiones del mercado e inversión disponible en soporte y tecnología.

— El ritmo de implementación de la tecnología habilitadora, por ejemplo, *data lakes*, sensores, plataformas de IIoT.

La hoja de ruta de implementación probablemente tendrá un horizonte de tres años, con un mayor enfoque en los primeros 12 a 18 meses. La hoja de ruta define el "qué": qué casos de uso se realizarán; el "cómo": cómo se realizarán, y el "quién": quién será responsable de realizarlos. Un plan maestro con acciones concretas, entregables, cronogramas y pasos de realización hará un seguimiento preciso de todas las mediciones y proporcionará actualizaciones con fines de seguimiento y corrección.

Paso 1: Configurar una implementación impulsada por el valor y que busque impacto

Implementar los primeros casos de uso es una inversión y, por lo tanto, es importante pensar la implementación de una manera estratégica (véase el ejemplo de automoción en la Ilustración 11). En la mayoría de las situaciones se recomienda implementar los casos de uso basados en la relación valor/viabilidad. Primero, elija los casos de uso que crean valor inmediato y evite los casos de uso que requieren bases de datos que se deben construir desde cero u otros requisitos previos que implican gran esfuerzo. Si bien el enfoque suele estar en los casos de uso de alto valor y bajo esfuerzo, existen fuertes argumentos para buscar casos de uso con bajo o ningún retorno en inversión. Por ejemplo, un caso de uso puede no generar un valor inmediato, pero puede habilitar casos de uso futuros. Esta decisión se analiza de antemano y la justificación debe ser claramente comunicada para que todas las partes interesadas relevantes sean conscientes de la inversión y el valor, incluso si ese valor se demora.

Las mejores prácticas comprobadas para la implementación exitosa de casos de uso son:

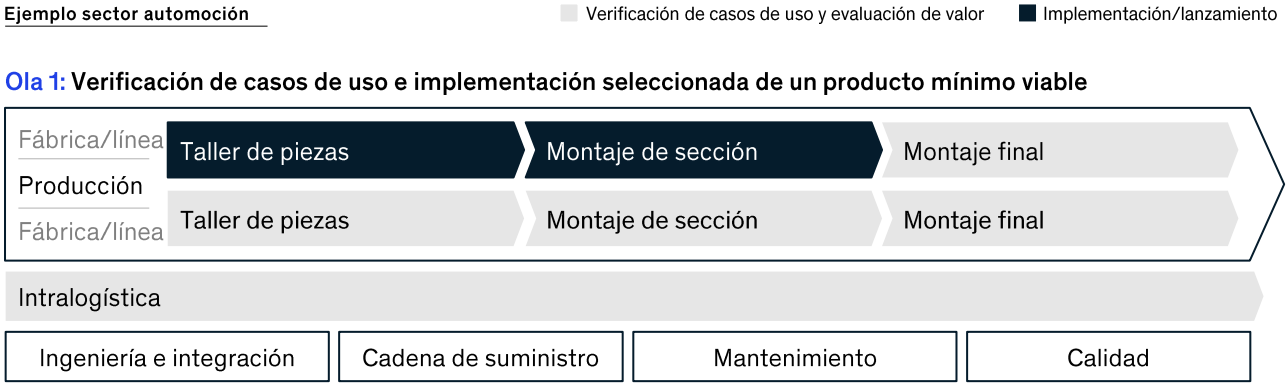
— **Trabajar ágilmente.** El enfoque de implementación debe ser ágil. Definir olas de implementación y alinearlas con los equipos. Ser flexible y ajustar las olas futuras si es necesario, pero evitar hacer ajustes a la ola actual: esto produce un "ruido" innecesario y ralentiza la implementación general.

— **Mantener estándares y facilitar el aprendizaje.** Siempre es bueno implementar casos de uso en plantas que tengan un ligero desfase temporal, independientemente de que la red de la planta sea heterogénea u homogénea. Esto asegura que las lecciones de una implementación en una planta se puedan aplicar a implementaciones posteriores en otras plantas. Garantizar un proceso de retroalimentación estable para alertar a los equipos de implementación sobre problemas futuros, y garantizar un intercambio de código (en el sitio, si es necesario; el *back-end* en la nube debería ser el mismo) para aprovechar el conocimiento y evitar duplicar esfuerzos.

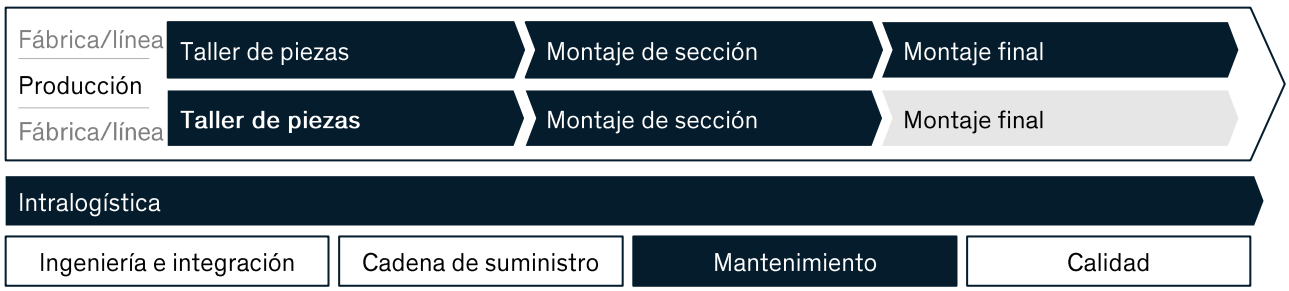
Ilustración 11

Lograr impacto a escala requiere un enfoque de lanzamiento claro y escalonado en varias olas

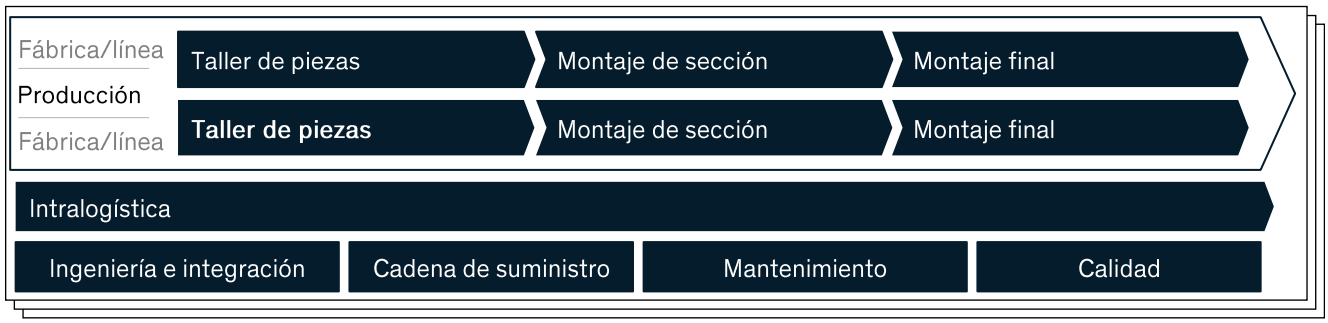
Ejemplo sector automoción



Enfoque en la estimación del impacto en todas las grandes áreas de producción y logística e instalación de productos mínimos viables y pruebas de concepto para casos de uso en las áreas de enfoque



Lanzamiento de iniciativas priorizadas de la Ola 1 en todas las áreas de producción, agregando aplicaciones seleccionadas en las áreas de soporte



Lanzamiento de iniciativas priorizadas de la Ola 2 en todas las áreas de cada línea de producción en la transformación digital

Fuente: McKinsey

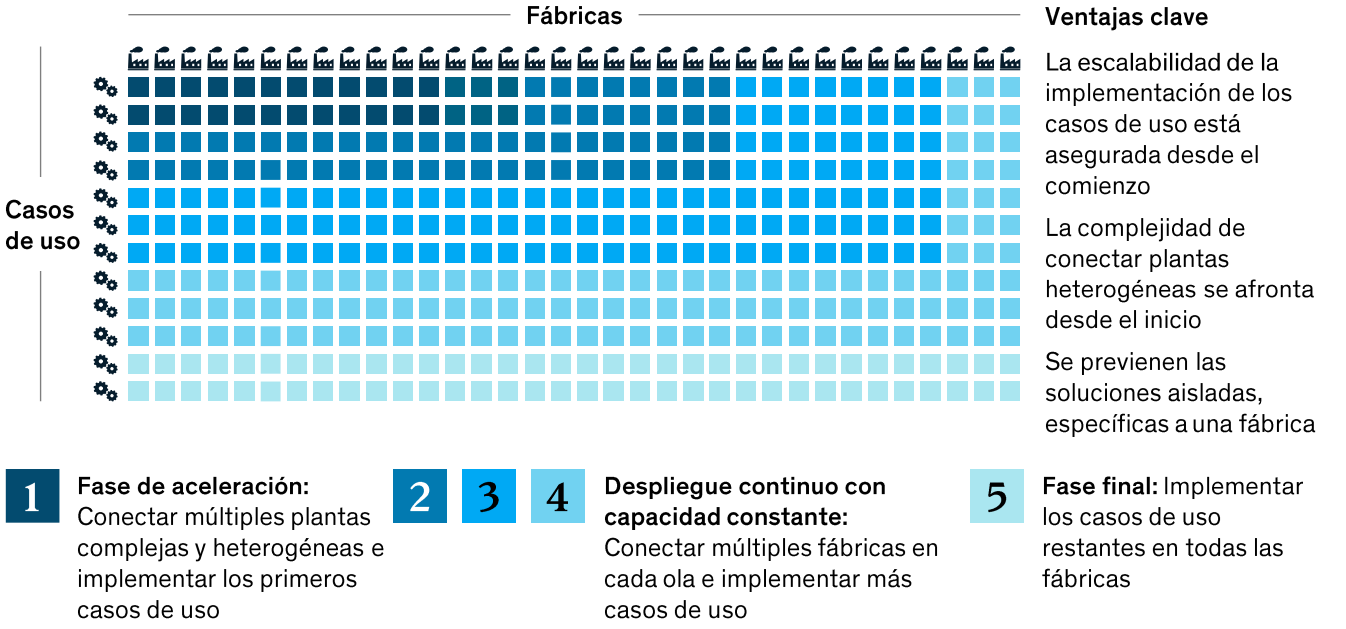
La Ilustración 12 proporciona un resumen de la implementación de un caso de uso en un grupo grande de fábricas. Esta implementación particular tuvo lugar en una empresa que podía aplicar los mismos casos de uso en diferentes ubicaciones debido a la similitud de sus líneas y productos.

Si la red de la planta es heterogénea (es decir, diferentes líneas, productos e industrias), se recomienda un plan de implementación diferenciado caso por caso, siempre teniendo en cuenta el mejor enfoque para agrupar esfuerzos. Al utilizar un enfoque basado en el valor, es fácil identificar un primer clúster, que todavía se puede refinar durante la aplicación, para iniciar la implementación rápidamente.

La única capa que puede verse diferente en cada planta es la conectividad máquina/edge y la recopilación de datos. Como consecuencia de los diferentes tipos de máquinas con diferente hardware (que ejecutan distintos protocolos) y que provienen de distintos períodos de tiempo, esta capa es la más heterogénea desde un punto de vista histórico y, por lo tanto, necesita soluciones específicas y bien agrupadas. Con el tiempo habrá más clústeres; sin embargo, utilizar el mismo hardware/software para conectar tipos específicos de fuentes de datos (por ejemplo, tipos de marcas de PLC) ayudará a facilitar el mantenimiento futuro, al mantener lo más bajo posible el número de sistemas diferentes.

Ilustración 12

El lanzamiento debería empezar con unos pocos casos de uso en varias fábricas



Fuente: McKinsey

Paso 2: Comenzar a recopilar y agregar datos, realizando otras actividades relevantes en paralelo

No es necesario que todas las piezas estén definitivamente en su lugar antes de comenzar la implementación. En específico, la priorización de casos de uso proporciona una descripción general de las fuentes de datos necesarias y una comprensión de los datos que están disponibles y se pueden conectar, incluso antes de conectar los datos requeridos. Con base en esta información, la arquitectura para la recopilación de datos se puede ajustar o definir para la situación específica del hardware OT y de la fuente de datos.

En paralelo, sin embargo, no se debe descuidar el desarrollo del núcleo de la plataforma y este debe comenzar en sincronía con el desarrollo de los casos de uso. Las fuentes deben estar conectadas para la recopilación automatizada de datos lo antes posible. Dependiendo del estado de implementación de la arquitectura objetivo, el caso de uso se puede desplegar en un servidor local, basado en la arquitectura definida. Esto implica el uso de marcos, que finalmente se utilizarán en el *back-end*. Pero la implementación de la arquitectura final con priorización de los primeros casos de uso no debería tomar mucho tiempo, y la migración de los primeros casos de uso debería ser posible después de solo unas pocas semanas. Después, todos los casos de uso se implementan en la arquitectura objetivo. En preparación para esto, la próxima ola de casos de uso se debe examinar y habilitar estando conectada a las fuentes de datos necesarias en las olas anteriores.

Lo que debe tenerse en cuenta aquí es que muchos casos de uso necesitan más tiempo de preparación, simplemente por el hecho de que aún no existen algunas fuentes de datos. Para compensar esto, puede ser necesario agregar sensores, cambiar la lógica del PLC de las máquinas, actualizar sistemas, etc.

Paso 3: Establecer los procesos y la colaboración que permitan el despliegue requerido

Se debe establecer un proceso de incorporación estándar para nuevas plantas con el fin de garantizar que haya un equipo listo para el momento en que empiece allí la implementación. La implementación también implica una transformación en la forma de trabajo y la mentalidad de una organización; por lo tanto, hacer una gestión consciente del cambio es tan importante y prioritario como la propia aplicación del cambio. El éxito de un caso de uso puede disminuir si el beneficio no está claro y la gente no utiliza la nueva aplicación o sistema en su trabajo diario o la utiliza incorrectamente.

Un equipo central de implementación de IIoT se ocupa de las necesidades en las diferentes plantas, asegurándose de que todo esté en su lugar antes de que comience la implementación. La lista de necesidades incluye tanto las habilidades como la base técnica que requiere el caso de uso. El equipo central de IIoT identifica en cada sitio a las personas correctas que van a administrar la implementación y también contribuye con conocimientos para la resolución de problemas, ya que pueden surgir preguntas debido a detalles desconocidos del sitio particular. El equipo central también rastrea el estado de la implementación y los problemas que se produzcan. Esto asegura una visión integral de los beneficios, el estado de implementación y las soluciones a problemas, con el fin de derivar de allí mejores prácticas para las próximas plantas. Es casi seguro que una mirada más profunda a los casos de uso revelará la necesidad de habilidades que tal vez no existan actualmente dentro de la organización o las plantas individuales. La incorporación de nuevos talentos o la formación de los empleados actuales deben comenzar lo más pronto posible, con el fin de que las habilidades estén listas cuando se necesiten. El desarrollo de habilidades y nuevas capacidades son esfuerzos continuos porque el despliegue de los casos de uso es interminable. La inversión en estas áreas es obligatoria para una organización que quiera tener éxito en sus esfuerzos de implementación de estrategias de Industria 4.0.

También es clave tener un modelo de colaboración claro, en el cual haya un responsable definido por grupo de trabajo. La comunicación eficaz dentro de la organización, como la comunicación entre plantas, y entre la organización y sus socios, también es esencial.

Los arquetipos de socios importantes a lo largo de la cadena de valor son los proveedores de equipos industriales, los proveedores e integradores de tecnología y los especialistas en dominios funcionales.

La capacitación de los empleados debe comenzar antes de la implementación (o incluso simultáneamente), para que estos conozcan y crean en las nuevas oportunidades y puedan beneficiarse del caso de uso. Las sesiones de aprendizaje son esenciales, y se debe invertir tiempo en responder a las preguntas e inquietudes de los empleados. Además, involucrar a las personas que trabajarán con la nueva aplicación o herramienta en el proceso de desarrollo y solicitar su retroalimentación puede tener el efecto no solo de crear una herramienta que se adapte mejor a sus necesidades, sino aumentar la aceptación y, en última instancia, el uso de la nueva aplicación o sistema. También será importante establecer las expectativas y responsabilidades de los propietarios de los casos de uso, ya que ellos definirán los *sprints* posteriores dentro de los casos de uso y reportarán las actualizaciones de estado, al igual que los problemas. La alineación de los procesos —como, por ejemplo, cómo ocurre la comunicación y cómo se miden el estado y el progreso— es importante.

Además de la hoja de ruta, debe haber una comprensión clara de la posición de partida en términos técnicos —por ejemplo, comprender el panorama actual de IT y OT (véase el capítulo 3.1)—, pero también en términos organizativos.

2 Organización

Si bien puede resultar tentador subestimar el factor supuestamente “blando”, las empresas deberían ser conscientes de la inmensa importancia que tiene la dimensión organizativa. Superar las barreras organizativas es una condición indispensable para gestionar con éxito la parte tecnológica de una transformación digital en el sector de la manufactura. En consecuencia, en la sección que sigue hablaremos sobre los dos elementos facilitadores para capturar valor: establecer una nueva forma de trabajar y desarrollar capacidades.

2.1 Captura de valor: gestión del cambio y el rendimiento

El valor de una transformación digital en la manufactura está ligado a la implementación sostenible de casos de uso. Por lo tanto, capturar el valor de esos casos de uso es esencial para dirigir con éxito la transformación de IIoT. Esto requiere que la organización establezca metas cuantificadas claras a lo largo de la hoja de ruta de toda la transformación y haber simplificado el seguimiento y la elaboración de informes, así como una sólida gestión de los desvíos. El seguimiento integral de la implementación en todas las plantas es obligatorio para una futura aplicación y priorización de casos de uso para implementar (planificación de la próxima ola).

Paso 1: Definir una hoja de ruta general para la transformación de IIoT y valores objetivo de los casos de uso

Los pilares más importantes de un enfoque estructurado para capturar valor en una transformación digital son tener una hoja de ruta estricta, en la cual estén definidos los hitos importantes para los proyectos y los casos de uso, y establecer valores objetivo para esos casos de uso a lo largo de la hoja de ruta. Además del valor de impacto estimado de un caso de uso, esos valores objetivo también deben incluir KPI para el presupuesto y un estado general a lo largo del tiempo. La estimación del impacto también se puede utilizar para la priorización, la finalización de la implementación y la planificación de la implementación de los casos de uso.

Para obtener una medida completa y precisa de la captura de valor de las tecnologías avanzadas facilitadas por el IIoT es importante tener una visión holística de los casos de uso a lo largo de la hoja de ruta. Esto significa comprender todo el proceso de implementación, comenzando con la selección del caso de uso, avanzar por los ciclos de mejora y, finalmente, buscar la escalabilidad y la industrialización.

Paso 2: Establecer una organización, un modelo y un mecanismo que capturen valor

Para ejecutar la captura de valor de una transformación digital en la manufactura se recomienda tener una organización dedicada a la captura de valor. Una Oficina de Captura de Valor puede actuar como unidad central para coordinar la presentación de informes y la comunicación del estado general de la implementación al consejo de administración y otras partes interesadas. Para poder monitorizar el efecto de valor de los casos de uso hacia los valores objetivo definidos es necesario el seguimiento y la generación de informes (idealmente automatizados). Para evitar conflictos de versiones y permitir la velocidad y actualización de los datos, la clave es tener una base de datos central que actúe como única fuente de verdad. Los informes se deben adaptar a los diferentes niveles jerárquicos involucrados en la dirección del programa. Esto incluye la agregación de cifras de coste y valor para distintos niveles de jerarquía.

Más allá de crear reportes e informes, la Oficina de Captura de Valor también se encarga de monitorizar el logro de los objetivos e intervenir si el valor registrado no corresponde al valor esperado. La Oficina de Captura de Valor puede, por lo tanto, desplegar y dirigir grupos de trabajo (por ejemplo, de un grupo central de expertos) para apoyar la implementación de casos de uso (por ejemplo, en plantas).

Paso 3: Implementar una gestión de desviaciones consistente

La oficina de captura de valor debe liderar la implementación de una gestión fuerte de las desviaciones. Esto le permite:

a) Identificar los desvíos del plan de implementación e investigar las razones subyacentes, incluyendo desafíos y cuellos de botella generales en el programa global, más allá de los casos de uso individuales.

b) Definir medidas de mitigación para recuperar la hoja de ruta del desarrollo y la implementación de los casos de uso.

c) Apoyar la implementación de medidas por casos de uso/líderes de proyectos; por ejemplo, mediante la implementación de grupos de trabajo especiales.

2.2 Desarrollo de capacidades y una nueva forma de trabajar

Una transformación digital en la manufactura implica cambios organizacionales masivos. Esto incluye cambios en las estructuras organizativas, el modo de colaboración con los socios y los perfiles y roles laborales. Como resultado, para implementar y escalar con éxito casos de uso facilitados digitalmente y

mediante IIoT se necesita establecer una nueva forma de trabajar y un nuevo conjunto de competencias. Las siguientes acciones son cruciales para una transformación exitosa. Las hemos definido aquí como “pasos”, pero el hecho de implementarlas de forma secuencial o simultánea dependerá de las características específicas de la organización, entre otras, su punto de partida particular

Paso 1: Establecer cambios organizativos estructurales e implementar un nuevo gobierno y una nueva forma de trabajar

Una transformación digital integral en la manufactura requiere la participación de varias funciones y entidades (por ejemplo, la organización de la planta, IT, OT, entidades centrales de producción) y, por lo tanto, requiere nuevas interfaces entre las distintas funciones de la organización y la necesidad de una forma de trabajo pluridisciplinaria. Esto requiere romper los rígidos silos organizacionales que a menudo están profundamente arraigados en las grandes organizaciones. Al buscar la convergencia de IT-OT, las organizaciones generalmente se enfrentan a varios desafíos (Ilustración 13):

— Toma de decisiones compleja debido a la división de responsabilidades entre IT y OT, especialmente con respecto a la ciberseguridad.

— Falta de órganos y estructuras de gobierno conjuntos para alinear los intereses y necesidades de IT y OT.

— Adopción lenta de nuevas tecnologías en entornos OT, por ejemplo, nube, integración continua y entrega continua.

— Limitada capacidad de coordinación y ejecución de iniciativas con tecnología integrada (IT y OT).

— Falta de estandarización y armonización de procesos entre las distintas plantas.

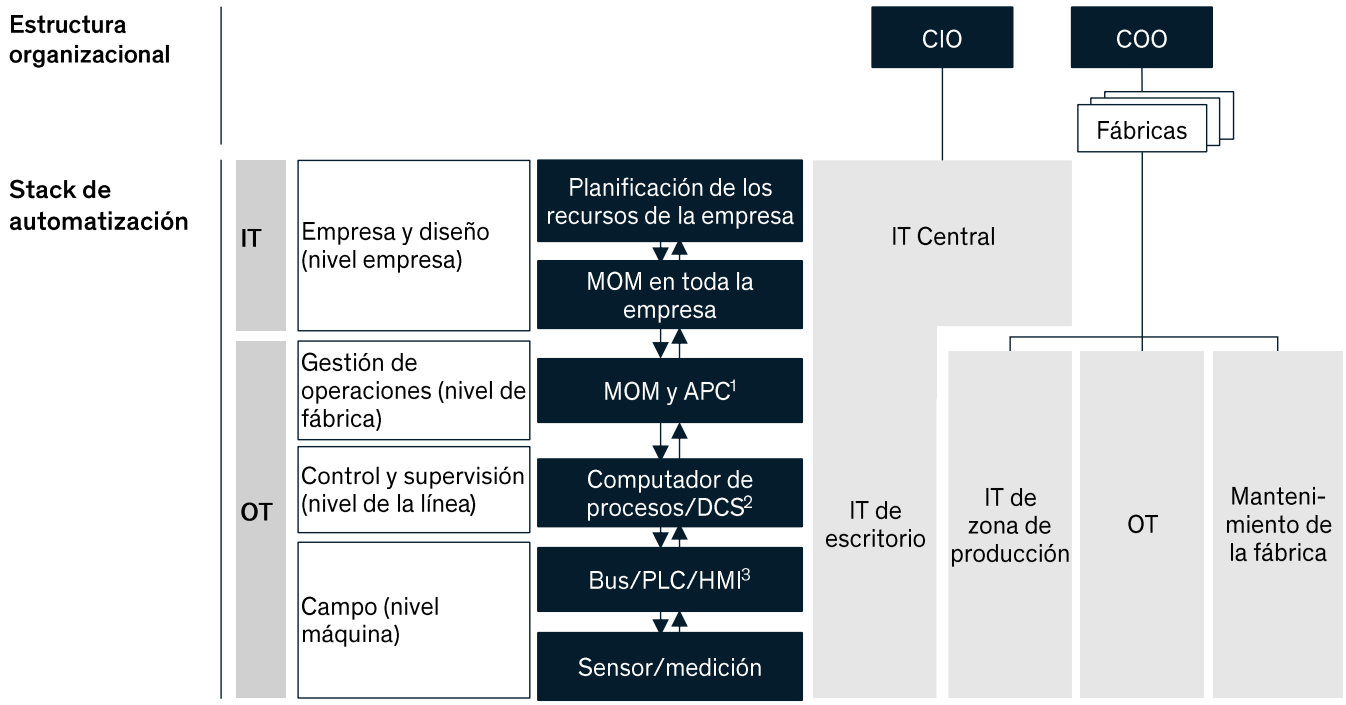
— Alto grado de duplicación y solapamiento entre IT y OT.

— Falta de perfiles con habilidades interdisciplinarias que cubran los requisitos de IT y OT.

Asimismo, la integración y colaboración con nuevas empresas socias externas crea diferentes configuraciones organizativas y formas de trabajar, y esto último demanda también nuevas formas de organización en la empresa manufacturera. Para coordinar el desarrollo de casos de uso en las plantas, un equipo central de expertos con perfiles y habilidades pluridisciplinarias que cubren requerimientos de IT y OT puede, junto con el departamento de IT, apoyar los esfuerzos de desarrollo, proporcionar experiencia técnica y ayudar con el despliegue técnico, por ejemplo, con tecnología IIoT basada en la nube en forma de plataforma de IIoT. Este equipo establece estándares y proporciona mejores prácticas a la organización de la planta descentralizada e incorpora los requisitos de las plantas para apoyar la implementación de una plataforma IIoT y casos de uso (Ilustración 14). Este equipo central también puede ser apalancado por la Oficina de Captura de Valor para desplegar grupos de trabajo en casos de demoras en la implementación.

Ilustración 13

La IT y la OT usualmente son dirigidas por diferentes secciones de la junta directiva, dificultando la habilitación y adopción de IIoT



1. Control de procesos avanzados (APC por sus siglas en inglés)
2. Sistemas de control distribuidos (DCS por sus siglas en inglés)
3. Interface humano-máquina

Fuente: McKinsey

Observaciones

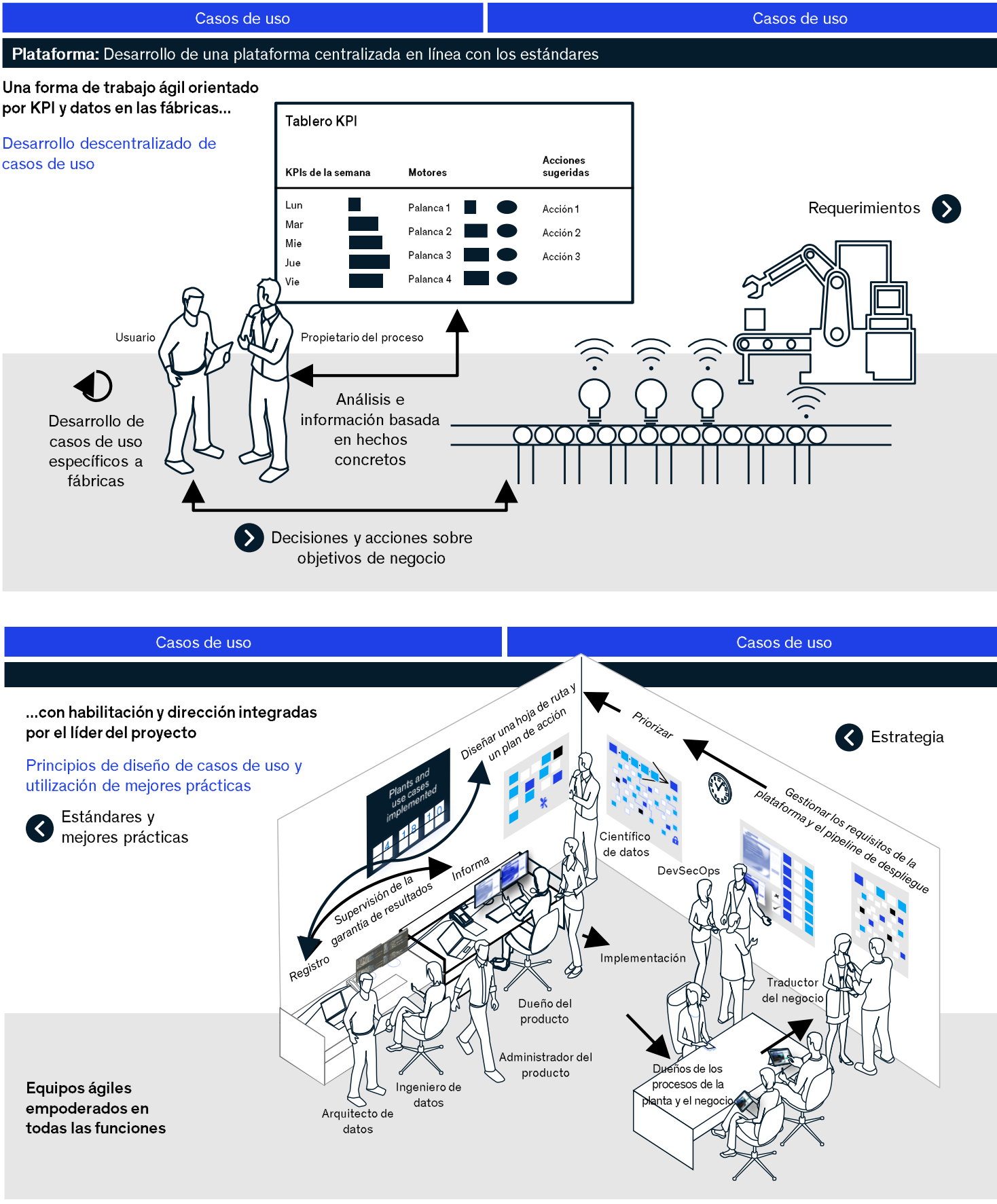
La IT y la OT se gestionan independientemente y se tratan como tecnologías aisladas, porque su convergencia no ha sido prevista por la mayoría de las empresas.

Mientras que la IT es gestionada por el CIO, los sistemas de OT son gestionados por el COO o por el administrador de unidades de negocio.

De ahí que, las implementaciones de IT y OT atienden distintos problemas y emplean arquitecturas y protocolos diferentes.

Esto resulta en configuraciones ineficientes y costosas que solo permiten un bajo grado de innovación y estandarización.

La tecnología de producción digital va a habilitar una nueva forma de trabajar, con la conducción líder de un proyecto central y la plataforma de apoyo y el lanzamiento de casos de uso en todas las fábricas



Ciertamente no existe un enfoque único y estandarizado para establecer una organización IT-OT convergente. Sin embargo, los hallazgos de este informe, así como las observaciones de McKinsey de las compañías que han adoptado este tipo de organización con mayor éxito, revelan los siguientes principios rectores para la convergencia de IT y OT:

— **Modelo de gobierno común**

- Establecer órganos de gobierno central que incorporen expertos tanto en IT como en OT para definir principios rectores para IT y OT en el futuro.
- Definir un modelo de arquitectura común para IT y OT basado en estándares de la industria.

— **Armonización de procesos**

- Armonizar los procesos duplicados y superpuestos en IT y OT en función de los principios rectores generales y un modelo de organización integrado.
- Estandarizar los procesos en todas las plantas para permitir una mejor gestión de la calidad.

— **KPIs comunes**

- Implementar un conjunto común de KPIs (por ejemplo, medir los procesos de implementación y captura de valor) tanto para IT como para OT con el fin de incentivar la convergencia de IT-OT.
- Asegurar la implementación rápida y continua de nuevos productos, tecnologías y características en los procesos de manufactura para reducir el coste y el tiempo de comercialización.

— **Gestión centralizada de datos y seguridad**

- Formalizar las políticas de gobierno y seguridad para OT.
- Establecer en un punto centralizado la responsabilidad de la seguridad de IT y OT.
- Desarrollar un enfoque integrado de seguridad y gestión de incidentes en IT y OT que facilite la implementación de nuevas medidas de seguridad contra amenazas externas y un gobierno central de la seguridad a lo largo de toda la cadena de valor.

— **Transformación de competencias**

- Definir roles y perfiles de competencias que apoyen el modelo operativo y de gobierno integrado.
- Definir el enfoque de formación y desarrollo de nuevas competencias para los recursos existentes y establecer un plan de contratación a largo plazo.

Paso 2: Identificar y resolver la carencia de competencias

Para lograr un valor sostenible a partir de una transformación digital en la industria manufacturera, los perfiles laborales, tanto del personal directo como indirecto, especialmente en las plantas, se orientarán hacia competencias digitales y de IIoT. Por lo tanto, hay que definir los roles y competencias requeridos por la organización del futuro. Específicamente, es necesario contar con las habilidades adecuadas para el desarrollo, la implementación y la operación de los casos de uso digitales. Los científicos de datos, los expertos en IT y OT y los responsables de línea o del proceso de negocio deben trabajar de la mano, y también pedir que se establezcan nuevos roles (Ilustración 15).

Hay un nuevo paradigma en la interfaz del personal entre las funciones tradicionales

Descripción del cargo

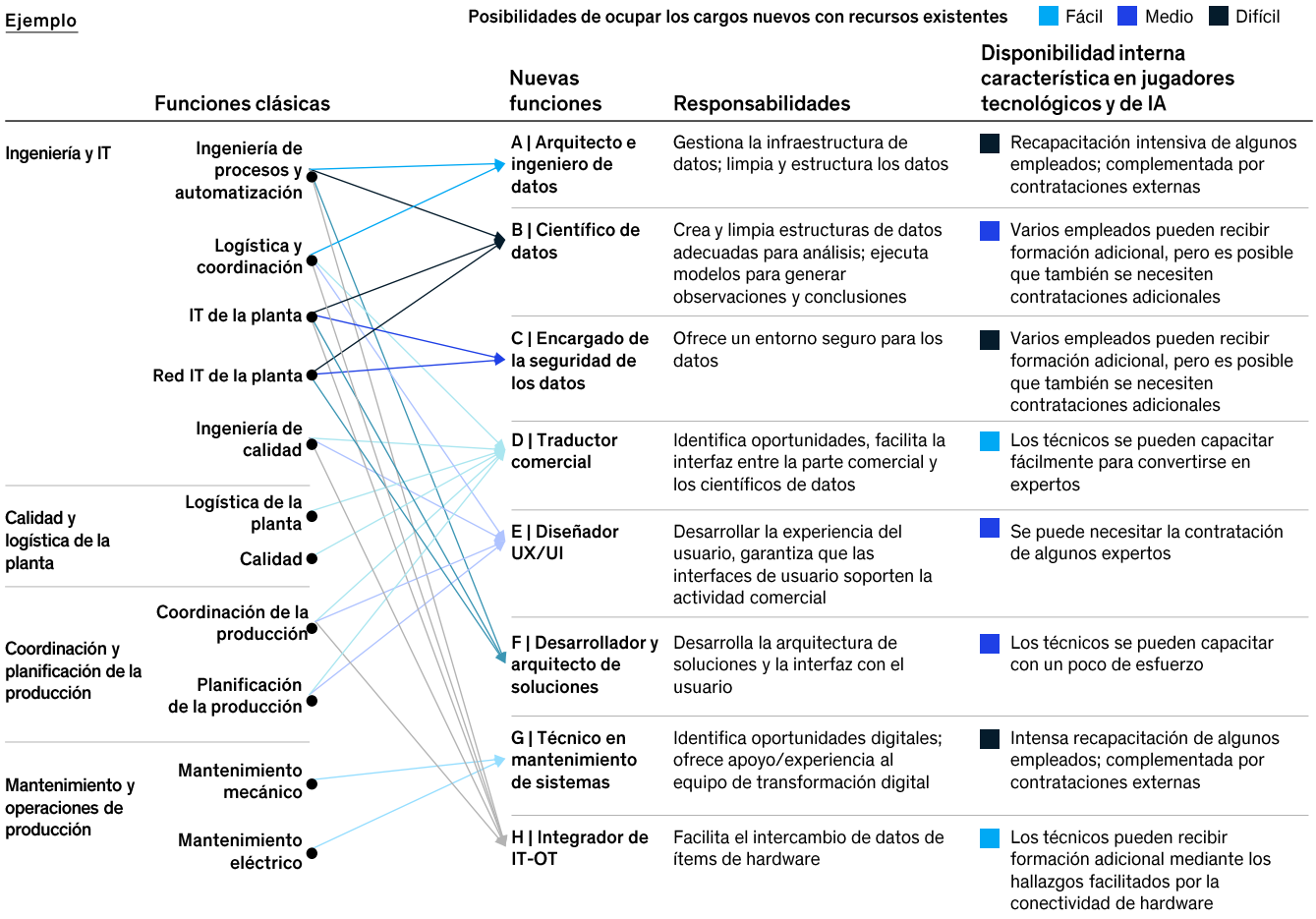
1. Crear estructuras de datos adecuadas para análisis y ejecutar modelos de analítica avanzada para generar descubrimientos y predecir eventos futuros
2. Ofrecer la visión del negocio como usuarios funcionales para desarrollar y luego utilizar los casos de uso
3. Gestionar los aspectos técnicos de los proyectos de automatización y el ecosistema tecnológico
4. Gestionar la infraestructura de datos, garantizando la solidez de los pipelines y creando funciones; limpiar y estructurar los datos
5. Identificar oportunidades digitales y facilitar la interfaz entre el negocio y los científicos de datos al iterar modelos y observaciones
6. Desarrollar la arquitectura de las soluciones y la interfaz del usuario
7. Coordinar los recursos y requisitos para generar impacto en el negocio

Fuente: McKinsey

Los ingenieros de datos, los *business translators* y los arquitectos de soluciones encarnan solo algunos de los nuevos roles que se necesitan (Ilustración 16), pero que normalmente no existen en organizaciones manufactureras no digitales. Además de la contratación externa, se puede encontrar una gran fuente de nuevas competencias dentro de la organización, mediante la reasignación de recursos, la formación y la adecuación de las capacidades de la fuerza laboral existente. Muchos de los roles requeridos en el futuro serán una evolución de habilidades que normalmente ya existen, como los cambios de proceso impulsados por los casos de uso, que serán implementados por ingenieros de proceso, o la conectividad OT y la modernización, que se convertirán en nuevos elementos de las funciones de los técnicos de mantenimiento o automatización.

La Ilustración 16 muestra un ejemplo de sinergias entre roles antiguos y nuevos. Es obligatorio ofrecer un entrenamiento enfocado para los empleados de diferentes divisiones. Esto requiere una cuidadosa consideración de los (a menudo muy) diferentes niveles y tipos de conocimiento. Un componente de "aceleración" de la capacitación puede ayudar a que todos alcancen un conocimiento mínimo antes de comenzar con el contenido central de la formación.

Los nuevos roles pueden ser parcialmente ocupados por empleados existentes, después de un proceso coordinado de re-entrenamiento



Fuente: McKinsey

Paso 3: Gestionar la transición de roles e implementar un proceso de transformación para apoyar un cambio de mentalidad a lo largo de los distintos niveles de jerarquía

Transformar la fuerza laboral hacia el nuevo conjunto de habilidades requeridas en el futuro hace necesaria una cuidadosa gestión de la transición de roles. Este proceso incluye una definición de todas las habilidades necesarias y el diseño de planes de desarrollo, entre otras, la transición de roles “antiguos” a roles “nuevos”. Los planes de desarrollo se deben definir en detalle y deben ser completamente transparentes para todo el personal. Tener una perspectiva clara sobre el desarrollo personal y profesional y los requisitos para el futuro ayuda a generar confianza y aceptación de la nueva tecnología entre la fuerza laboral. Para que toda la fuerza laboral pueda captar todo el potencial de IIoT se requiere un proceso de gestión del cambio para desarrollar y distribuir las nuevas habilidades.

Para las organizaciones que se están embarcando en una transformación digital en la manufactura, es primordial reconocer que la transformación de habilidades de la fuerza laboral no es un “resultado colateral”. Esto afecta a toda la organización en su núcleo, pues hasta el 90 por ciento de la fuerza laboral (en particular en las plantas) se verá involucrada en la capacitación, la recalificación o la contratación de talento externo (Ilustración 17).

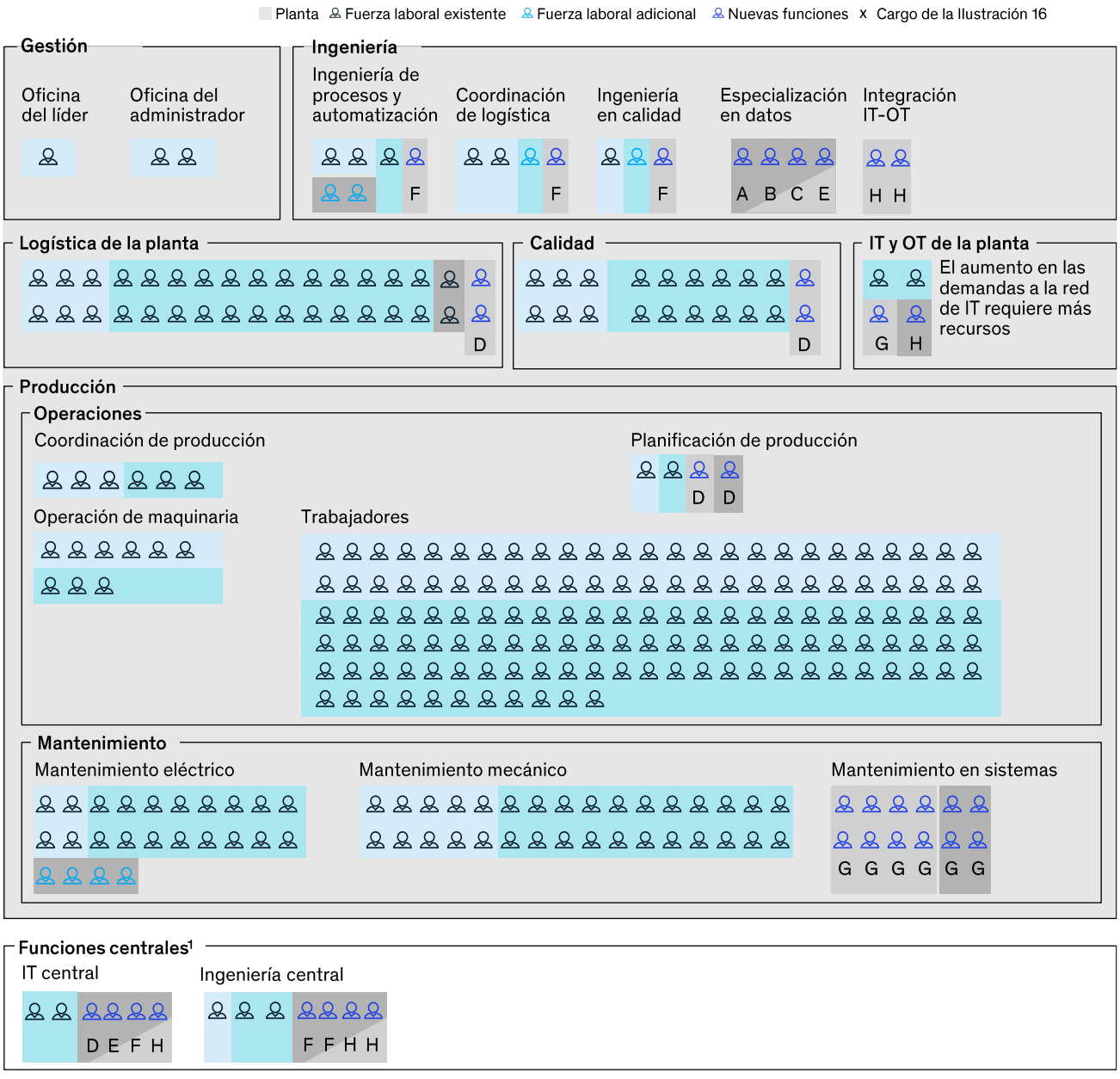
Desarrollar las habilidades adecuadas dentro de la organización y preparar a la fuerza laboral para el futuro es un factor crítico de éxito para lograr un impacto sostenible. Especialmente en el caso de organizaciones grandes, una transición de la fuerza laboral bien diseñada y ejecutada será fundamental para la salud de la organización. Algunos aspectos de esta transición son la motivación y la satisfacción de los empleados, y la protección de conocimientos y habilidades. Tanto el impacto de negocio como la salud organizacional son fundamentales para una transformación digital exitosa en el sector de la manufactura.

La planta del futuro puede obtener la fuerza laboral que necesita mediante formación, recapacitación (reskilling) y contratación

Ejemplo

10–25%	50–65%	10–15%	15–20%
Ninguna acción necesaria Ya existen las competencias, en la medida en que las funciones no sufren grandes cambios; esto aplica principalmente a las funciones de gestión y coordinación	**Formación** Las competencias y capacidades para las tareas nuevas en cargos ya existentes se pueden desarrollar internamente mediante una experiencia de aprendizaje de extremo a extremo; esta es una estrategia importante para funciones en toda la planta	**Recapacitación (reskilling)** Las competencias y capacidades para las nuevas funciones se pueden desarrollar internamente mediante la identificación y recapacitación de talento potencial en la fuerza laboral interna; los nuevos cargos en IT, ingeniería y mantenimiento se pueden llenar internamente usando este enfoque	**Contratación** Las competencias no se pueden desarrollar internamente mediante capacitación y/o formación y hay que buscarlas externamente mediante nuevas contrataciones; esto es significativo para funciones digitales con un fuerte vínculo IT

Estado futuro



1. Línea de informes dual desde los roles internos de la planta hasta la IT central para evitar el desarrollo aislado de soluciones en unidades comerciales separadas.

Fuente: McKinsey

3 Tecnología

Después de establecer el caso de negocio para el desarrollo del *stack* industrial -y los casos de uso que este habilita-, pondremos el foco en tres niveles de la tecnología: infraestructura de datos, integración de la nube y ecosistema.

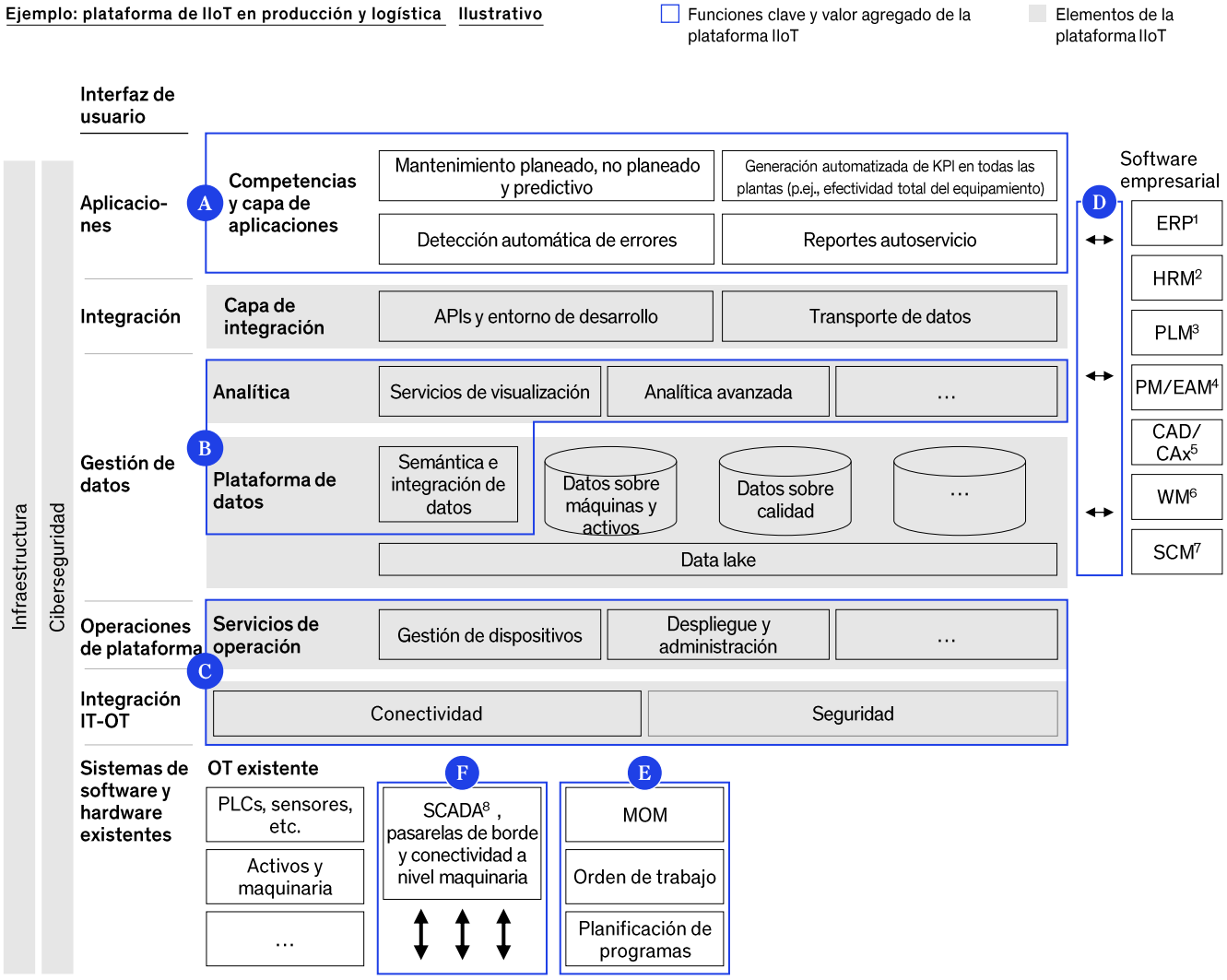
3.1 Infraestructura IIoT y de datos: diseño de plataforma *core* (incluyendo ciberseguridad IT-OT)

El diseño de la plataforma *core* se centra principalmente en crear la arquitectura objetivo para la plataforma IIoT (véase cuadro de texto 4). La arquitectura objetivo cubre todos los requisitos técnicos de los casos de uso identificados basados en datos capturados y flujos de decisión en la plataforma IIoT en el contexto de un entorno de manufactura *brownfield* (Ilustración 18/19).

Ilustración 18

La arquitectura objetivo de una empresa manufacturera integra ERP, MOM, PLM y IIoT en una única plataforma

Ejemplo: plataforma de IIoT en producción y logística | Ilustrativo



1. Planificación de recursos empresariales (ERP)
2. Gestión de recursos humanos
3. Gestión del ciclo de vida del producto
4. Mantenimiento de la planta / gestión de los activos empresariales
5. Diseño asistido por ordenador/tecnología
6. Gestión de almacén
7. Gestión de la cadena de suministro
8. Control de supervisión y adquisición de datos

Fuente: McKinsey

Se deben detallar varios aspectos claves para considerarlos en la arquitectura objetivo y la hoja de ruta de implementación

Función clave

A

Competencias y capa de aplicaciones

Aplicaciones que cubren casos de uso específicos, por ejemplo, mantenimiento predictivo o detección automática de errores, que se construyen sobre funcionalidad estándar de la plataforma

Aplicaciones proporcionadas por un tercero o proveedores de plataformas y disponibles a través de una tienda de aplicaciones, por ejemplo, efectividad general de equipamiento para maquinarias

B

Analítica y plataforma de datos

Informes estandarizados (autoservicio), analítica, visualización o servicios de ubicación disponibles a través de API para todas las aplicaciones utilizando bibliotecas de algoritmos *best-in-class*.

Integración y armonización de datos, tomando en cuenta semánticas de diferentes protocolos y máquinas

C

Servicios de operación

Servicios altamente escalables que manejan funcionalidades de plataforma básica como la gestión de dispositivos (por ejemplo, derechos y roles, gestión de acceso), alojamiento de servicios, implementación y administración (por ejemplo, monitoreo de actividad, uso de recursos), conectividad y seguridad (por ejemplo, intercambio de datos cifrados, infraestructura pública clave, certificados) disponibles para todos los sitios basados en microservicios y API

D

Integración con sistemas de IT empresariales

Interfaz con software empresarial, por ejemplo, ERP, SCM, PLM o CAD, mediante la agregación de datos e información generados en la aplicación o a partir de analítica y capas de plataforma de datos en formatos procesables por software empresarial

Software empresarial con acceso a la plataforma de analítica y datos y potencialmente también a aplicaciones a través de API para el procesamiento que no está disponible de forma nativa

E

Integración de la plataforma IIoT con MOM

Integración de la plataforma IIoT con la capa MOM para permitir una calendarización detallada de la producción, programación, pedidos y líneas de producción en general, y configuración e información de estado: datos de entrada para analítica de operaciones (calidad, activos, mantenimiento, efectividad total del equipo) y otras aplicaciones personalizadas

F

SCADA, pasarelas de borde y conectividad a nivel maquinaria

Enrutamiento e intercambio de datos con dispositivos de borde y máquinas, incluyendo motores de priorización de flujo de datos para enviar datos sin procesar o pre-procesados a la nube

Enrutamiento, priorización y almacenamiento de datos por procesamiento *in-situ* y almacenamiento dentro de pasarelas de borde

Fácil integración de dispositivos a la plataforma mediante plug and play.

Fuente: McKinsey

Por tanto, el diseño de la plataforma *core* exige los siguientes prerrequisitos: a) comprender qué avances en automatización industrial e integración IT-OT ofrecen las plataformas IIoT y el valor de utilizarlas, y b) comenzar con casos de uso priorizados y bien definidos (Ilustración 20).

Cuadro de texto 4: ¿Qué es una plataforma?

El término "plataforma" se utiliza tanto que no transmite mucha información más allá de que “se requiere mayor ensamblaje”. En términos más generales, una plataforma es software y hardware, que puede incluir un entorno operativo, almacenamiento, poder de computación, seguridad, herramientas de desarrollo y muchas otras funciones comunes (Ilustración 20).

Las plataformas son útiles porque condensan muchas funciones comunes de la lógica específica de aplicación. Los desarrolladores de aplicaciones solo quieren centrarse en el problema específico que están resolviendo y utilizan capacidades comunes como poder de computación, almacenamiento, o seguridad. Así, una buena plataforma reduce drásticamente el coste de desarrollar y mantener aplicaciones.

Desmitificando la plataforma: la incorporación de tecnologías de apoyo a las aplicaciones y la analítica analítica

Plataforma
se puede alojar localmente, como un servicio interno de la empresa, o ser alojado por un tercero

Capa	Stack de automatización IIoT	Stack tecnológico		Stack de componentes					
Empresa y diseño (nivel compañía, incl. proveedores)	Nube	Aplicaciones de nube	Infraestructura de software y aplicaciones	Aplicaciones	Aplicaciones empresariales y de cliente	Tienda de aplicaciones	Portal autoservicio/ UI				
					Analítica y visualización	Orquestación de datos	Aprendizaje automático	Motor de reglas			
		Plataforma IoT/ nube		Infraestructura de nube	Procesamiento de datos	Normalización de protocolos	Caché de datos/ almacenamiento	Validación de datos	Registro de datos	Apache Hadoop	
					Almacenamiento de datos	Base de datos relacional	Base de datos no relacional	Almacenamiento de datos operativos	Almacenamiento y respaldo de datos	Indexación de datos	Orquestación y seguridad
Gestión de operaciones (nivel fábrica)	Software local	Aplicaciones		Plataforma habilitadora	Gestión de API	Publicación y descubrimiento de APIs	Tokenización / autenticación	API de analítica/ informes	Portal / herramientas del desarrollador		
					Motor de aplicaciones	Kit de desarrollo de software	Búsqueda y consulta	Autenticación del usuario	Gestión de blobs	Motor de algoritmos	
		Soluciones de sistema			Gestión de dispositivos	Gestión de registro y contraseñas	Gestión de políticas y rotación de claves	Autenticación	Seguimiento de logs	Gestión de configuración	Parches / actualizaciones
		Conectividad		Conectividad	Backhaul	2G/3G/ 4G/ LTE/5G	LTE-U	Cableado			
					Local	Wi-Fi	BT banda ancha	NFC (Near-field communication)	802.15.4 (Zigbee)	Red por infrarrojos	DSRC
Control y supervisión (nivel de la línea de producción)	Integrado	Seguridad		Seguridad	Protección de endpoint y IAM	Detección de amenazas	Gestión de identidad y acceso	Antivirus			
		Software integrado		Hardware (y software integrado)	Dispositivos/ empaque						
Campo (nivel máquina)		Sensores inteligentes			Software en dispositivo	Kit de desarrollo de software[1]	Kit de desarrollo de hardware	Sistema operativo de tiempo real	Firmware, controladores	Sistema operativo	API
		Maquinaria/ hardware			Componentes a nivel placa	Procesadores	Sensores de front-end analógicos	Módems	Cargador de arranque seguro	Caché de datos/ almacenamiento	Actuadores

1. Incl. Bus de mensajes

Fuente: McKinsey

La plataforma IIoT ofrece avances en automatización industrial e integración IT-OT

Durante décadas, las distintas industrias del mundo han hecho grandes inversiones en IT para reducir costes, mejorar la eficiencia operativa y la visibilidad y, en última instancia, aumentar las ganancias. Al hacerlo, los profesionales de IT han sentado las bases de lo que se denomina empresa digital, es decir, una organización que utiliza la tecnología como una ventaja competitiva en sus operaciones internas y externas. Sin embargo, mientras que IT solía ser principalmente un asunto de los departamentos de apoyo: finanzas, contabilidad, recursos humanos, productividad, etc., hoy día, una empresa ("totalmente") digital también aprovecha IT y los dispositivos conectados en el mismo lugar en que la compañía crea valor para sus clientes como, por ejemplo, producción, diseño y servicios, en el caso de las fábricas. Así, para la industria de extracción, de manufactura y logística, la empresa digital también implica OT[9].

Las empresas han invertido mucho en OT, en su mayoría en máquinas cada vez más inteligentes y sistemas para automatizar tareas de manufactura discreta y procesos continuos. Esto incluye control de la automatización y plataformas de gestión de OT de más alto nivel para operar eficientemente, monitorizar y optimizar el rendimiento de la OT y maximizar la utilización del capital.

Con respecto a la integración de IT-OT, muchas fábricas han implementado en el pasado un sistema de gestión de la producción (Manufacturing Operation Management o MOM, por sus siglas en inglés). Estos sistemas proporcionan información actualizada al minuto (a menudo casi en tiempo real) y precisa sobre la producción, como la eficacia general del equipamiento, los costes de producción, incidentes de mantenimiento y métricas de calidad. Durante un tiempo, los resultados fueron satisfactorios, proporcionaban mayor visibilidad y permitían una mejor gestión de las operaciones diarias, incluida la programación de ajustes donde fuera necesario.

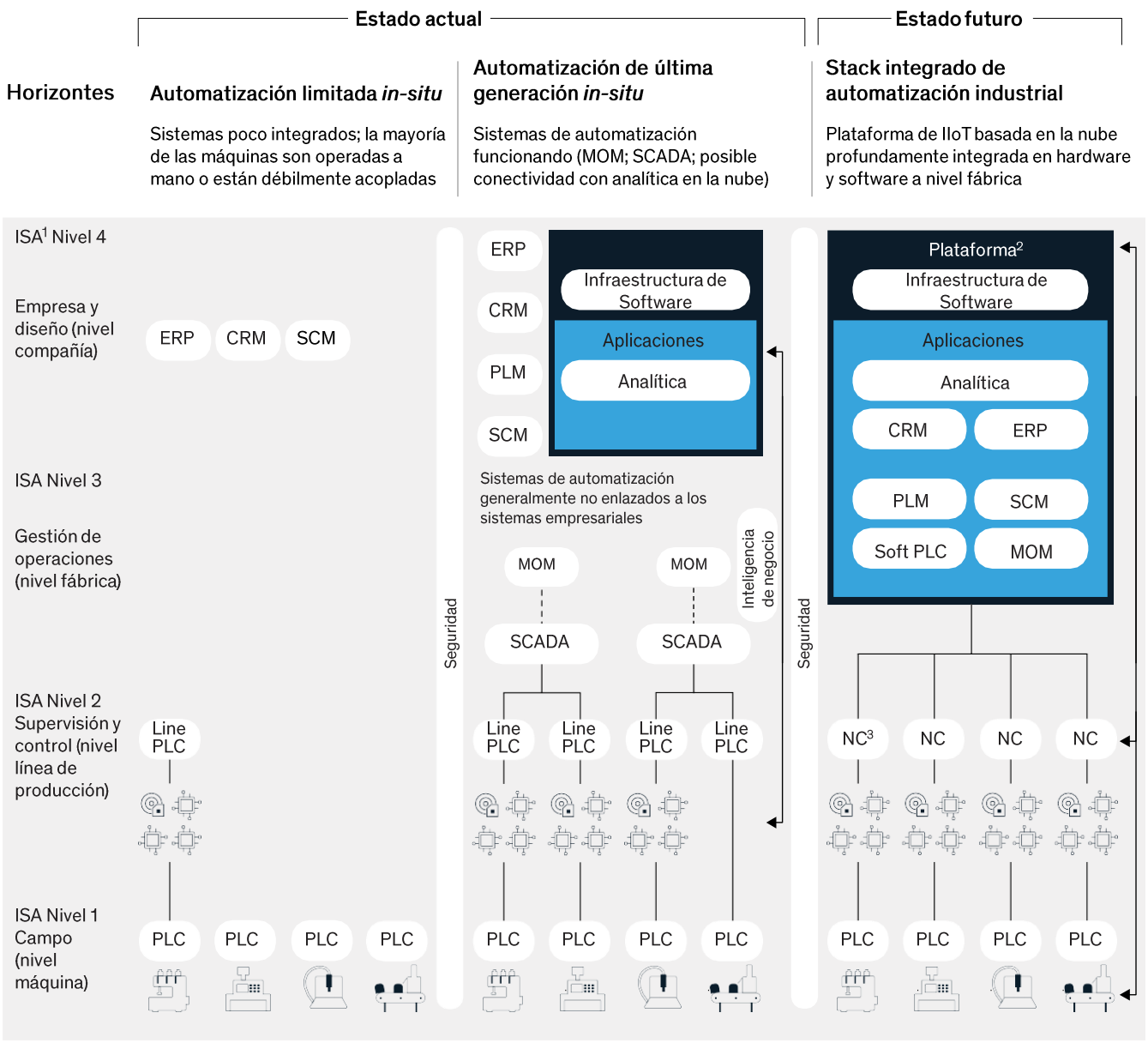
Sin embargo, cuando la globalización y la subcontratación llevaron a cadenas de producción y suministro distribuidas por todo el mundo surgieron nuevos desafíos. Desde entonces, los sistemas MOM orientados a piso de planta no han sido suficientes porque las operaciones y los KPI también deben ser consistentes entre las distintas líneas y plantas de producción.

Capturar todo el potencial de valor del IIoT requiere enfoques de integración más sofisticados que los que ofrecen los protocolos de automatización actuales

Conectar los mundos de IT y OT daría lugar a una verdadera empresa digital de principio a fin. La integración completa de las dos estructuras sentaría las bases para una plataforma IIoT rápida, fiable, segura y moderna (Ilustración 21). Pero, desafortunadamente, para muchas organizaciones compartir los datos entre estos dos mundos puede ser difícil, porque sus infraestructuras de red no están actualizadas ni suficientemente conectadas.

9 Para mayor información sobre la OT en general, y la terminología de la International Society of Automation y los estándares de integración de IT-OT (como ISA-95) en particular, véase: "ISA95, Enterprise-Control System Integration", International Society of Automation, 2020, www.isa.org/isa95/.

El stack tradicional se interconectará y digitalizará con una plataforma IIoT



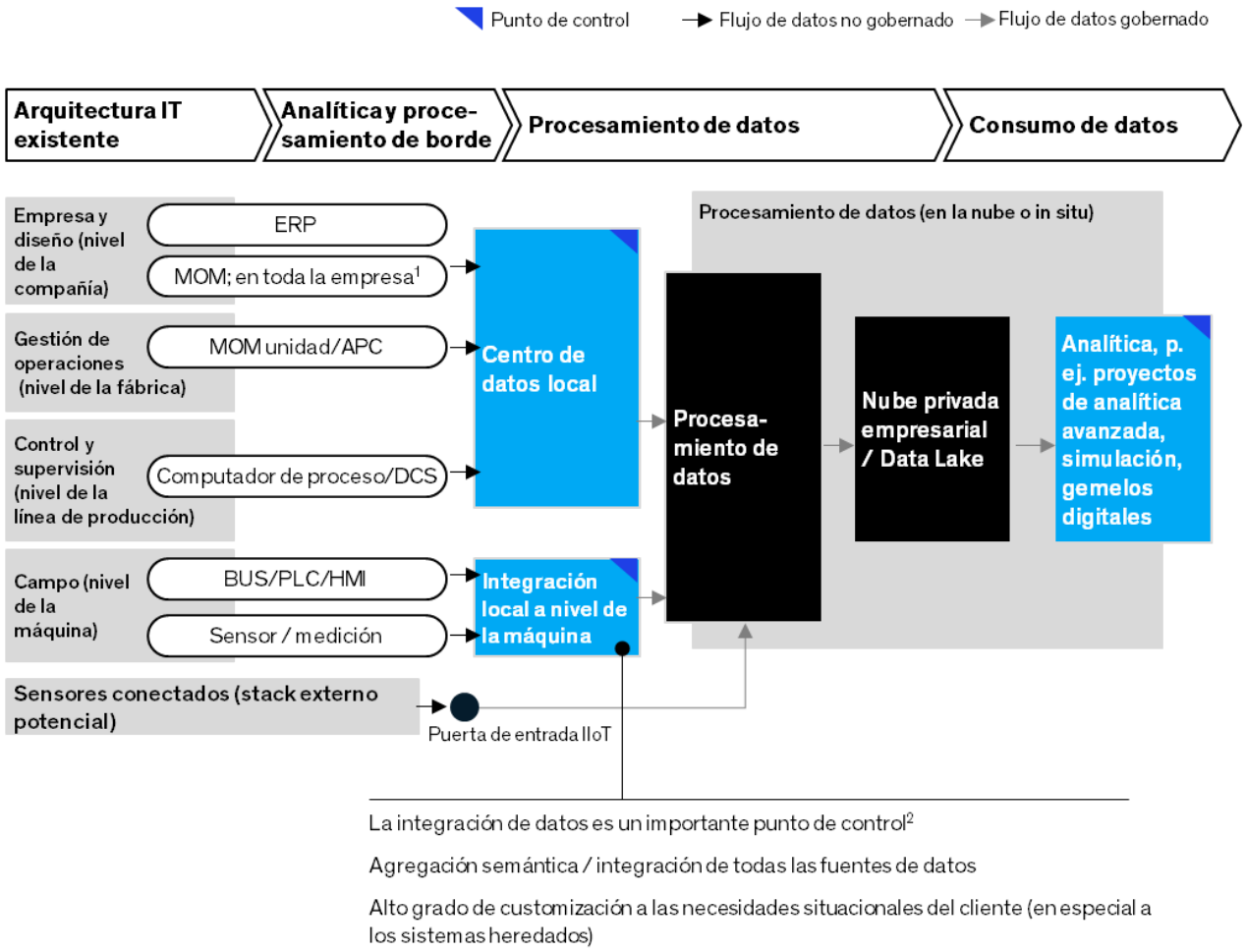
1. International Society of Automation
2. Se puede alojar localmente, como un servicio interno de la compañía, o a través de un tercero
3. Control numérico

Fuente: McKinsey analysis

Al mismo tiempo, el sector de manufactura no solo requiere flujos de información, sino también un estándar de modelo de datos con total transparencia en todas las instalaciones y regiones. También requiere control para poner en marcha y orquestar operaciones a través de un entorno heterogéneo de IT-OT, una arquitectura compleja de aplicaciones y una empresa distribuida que impacta en la cadena de suministro. Por lo tanto, todavía hay desafíos con el *stack* de automatización tradicional, particularmente en el sector de la manufactura discreta. También hay problemas relacionados con la arquitectura de datos en las que se apoyan. Específicamente, a nivel de empresa, fábrica, línea y máquina, la arquitectura de datos debe admitir todas las actividades de datos, desde la recopilación hasta el procesamiento y el consumo (Ilustración 22).

Ilustración 22

El stack de automatización industrial necesita una arquitectura de datos adecuada



1. Si existe
2. Con base en la necesidad actual de redundancia y latencia, la cual no es un hecho en el momento para soluciones puramente basadas en la nube

Fuente: McKinsey

Algunos de estos desafíos requieren soluciones de software, que una empresa puede priorizar cuando realiza la selección de su arquitectura y su plataforma de fabricación digital. Por último, una fábrica deberá decidir cómo de efectiva y receptiva es su infraestructura de operaciones y cómo de bien soporta la estrategia comercial de la empresa. Tras una evaluación de su infraestructura actual, debe seguir uno de los muchos caminos hacia un *stack* de automatización totalmente integrado.

En vista de ello, las siguientes cuatro preguntas son fundamentales para el diseño de la plataforma *core* y de ciberseguridad. Cada pregunta se aborda de acuerdo a los cuatro pasos que se describen a continuación[10]:

— ¿Cuáles son las brechas de integración que deben cerrarse respecto de los datos operacionales (sistema OT) en el entorno existente para implementar los casos de uso priorizados?

— ¿Cómo se pueden integrar las aplicaciones y orígenes de datos existentes y nuevos (sistema de IT) en una plataforma común para hacer uso de los datos?

— ¿Qué proveedor se debe seleccionar para implementar la plataforma de IIoT (o componentes de la misma) e integrar los flujos de datos?

— ¿Cómo se pueden gestionar eficazmente los desafíos de ciberseguridad en la convergencia de IT-OT?

10 En este contexto, véase también: Eric Lamarre y Brett May, “Making sense of Internet of Things platforms”, McKinsey & Company, mayo 12, 2017, https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/making-senseof-internet-of-things-platforms.

Paso 1: Evaluar completamente la configuración de las operaciones existentes tanto en OT como en IT

Determinar exactamente dónde y cómo el sistema actual imposibilita los casos de uso priorizados es un paso inicial importante. Existen dos fuentes principales de datos que se deben evaluar desde una perspectiva de caso de uso y toma de decisiones: la OT, que se encuentra en la zona de producción y va desde sensores hasta PLC y dispositivos periféricos, e IT, representada por sistemas de alto nivel, como ERP (del inglés Enterprise Resource Planning), SCM (del inglés, Supply Chain Management), mantenimiento del piso de planta, gestión de producción y ciclo de vida de producto.

Se requiere una evaluación exhaustiva del entorno de IT/ OT, junto con las dimensiones del *stack* tecnológico IIoT (Ilustración 23), con principal foco en las opciones técnicas de integración en términos de:

— Recopilación de datos operativos de sistemas funcionales, es decir, qué tecnologías están disponibles para capturar, procesar y transmitir datos de las fuentes de datos en la planta.

— Conectividad entre distintas redes de plantas y máquinas, con el fin de garantizar enlaces seguros a la red de IT y otras redes.

— Infraestructura de datos, es decir, qué tecnologías están disponibles para ingerir, almacenar y transformar datos en varias formas.

— Un entorno de analítica para implementar modelos en todo el flujo de valor de los datos, desarrollado según un estándar de entrega ágil.

— Un entorno de aplicaciones para implementar capacidades transaccionales sobre datos e información, desarrollado según un estándar para la entrega ágil.

La evaluación de la OT se ocupa de responder principalmente dos preguntas: ¿qué fuentes de datos están disponibles en la zona de producción y (cómo) deberían estar conectadas? Las dimensiones importantes que hay que evaluar son:

— Datos disponibles de sensores de máquinas y sus características (por ejemplo, frecuencia, analógico/ digital, resolución, ancho de banda requerido).

— Conexiones disponibles del equipamiento con su entorno (por ejemplo, sin conexión, cableado, inalámbrico) y características de acceso (por ejemplo, puerto de comunicaciones, disco duro interno, protocolos de comunicación).

— Datos ya recopilados y contextualización (ej.: base para la toma de decisiones).

Ilustración 23

La evaluación estandarizada de madurez de IT-OT es la base para una definición de arquitectura holística y optimizada

Objetivo principal · Pasos previos para una aceleración del producto mínimo viable

Objetivos	Enfoque	Resultados
Definir una arquitectura objetivo más adaptada al cliente, así como los pasos concretos para implementar la primera iniciativa de producto mínimo viable (en vivo) y consolidar las mejoras en producción.	Evaluación experta de cada sitio a lo largo de más de 100 nodos, analizando los componentes de la tecnología IIoT de extremo a extremo y las aplicaciones funcionales en dimensiones claves:	Comparaciones con la industria en todo el stack para tener en cuenta en la arquitectura
Determinar qué áreas carecen de integración digital y considerar estas áreas en la definición de la arquitectura de destino	**Aplicaciones** Tecnología para permitir visualizaciones personalizadas y aplicaciones transaccionales para datos y analítica	Evaluación de la madurez de datos y toma de decisiones para identificar necesidades para el futuro
Diagnosticar el estado actual de madurez IT-OT con base en 5 factores: aplicaciones, analítica, datos, recopilación y fundamentos, para crear una visión holística y definir lo que debe ser parte de la arquitectura objetivo	**Analítica** Tecnología para catalogar, compartir y ejecutar modelos encapsulando experiencia organizacional	Ajustes a la arquitectura objetivo que consideran el software y hardware IT-OT existente
	Datos Tecnología para ingerir, almacenar y transformar datos de varias maneras	Orientación táctica para casos de uso de productos mínimos viables priorizados (pasos para implementar los casos de uso mientras se construye la arquitectura de destino en paralelo)
	Recopilación Tecnología para capturar, procesar y transmitir datos desde fuentes de datos en la planta	
	Fundamentos Capacidades y prácticas tecnológicas comunes para capacidades transversales, incl. seguridad, conectividad, redes, infraestructura y modelos de gobernanza	

Fuente: McKinsey

Los desafíos típicos que acompañan esta evaluación incluyen el hecho de que existen múltiples tipos de sensores, protocolos de comunicación, interfaces, etc., que deben alojarse en una plataforma común. Este nivel de complejidad técnica requiere la experiencia de arquitectos de OT capacitados y de arquitectos e ingenieros de datos. Por otro lado, los casos de uso pueden requerir datos que actualmente son medidos de forma insuficiente o no se miden en absoluto (por ejemplo, análisis de vibraciones en bandas de frecuencia más alta) y, por lo tanto, presentan la necesidad de instalar equipos de sensores adicionales.

Se debe realizar un análisis completo de carencias en todo el *stack* tecnológico para garantizar que los habilitadores fundamentales estén presentes y lograr la captura de valor y los objetivos comerciales de la solución integral de IIoT. El riesgo subyacente y el potencial valor aumentan al bajar el *stack* tecnológico y llegar a los sistemas de OT que entregan valor físicamente.

La evaluación de IT se ocupa principalmente de cómo integrar los sistemas *legacy* en la plataforma de IIoT para enriquecer los datos y utilizar las interfaces existentes. Se deben integrar equipamiento automatizado, gestión de la producción, gestión del ciclo de vida del producto, ERP y más para lograr:

— **Personalización del producto**. Diseño y personalización rápidos de una variedad de productos.

— **Producción flexible**. Producción eficiente y línea mixta para una variedad de productos.

— **Servicios de valor añadido**. Valor creado a través del análisis de big data.

Lograr esto puede requerir un adaptador ad-hoc para establecer la comunicación entre los sistemas *legacy* y la plataforma de IIoT, con énfasis en haber identificado correctamente los datos (especialmente *timestamps*) para hacer uso de los mismos en el modelo de datos de la plataforma IIoT.

Existen estándares para interfaces, protocolos de comunicación, etc. y arquitecturas de referencia, las cuales son ofrecidas por proveedores de plataformas IIoT. Estas ofertas suelen venir con el beneficio de que toda la plataforma IIoT sea suministrada por un proveedor con un *stack* tecnológico común, pero causa un *vendor lock in*, pudiendo presentar carencias en áreas que no están dentro del núcleo de competencias del proveedor. En base a las circunstancias especiales del panorama actual, además de por razones estratégicas, se podría seguir un enfoque de *best-of-breed*, que se basa en elegir la mejor solución para cada caso o conexión. Esto, sin embargo, conduce a una mayor complejidad (por ejemplo, en el mantenimiento de la plataforma) y un mayor coste total de operación (TCO).

Paso 2: Crear la arquitectura objetivo para facilitar el caso de uso

Este paso se encarga del diseño de la arquitectura objetivo del *stack* tecnológico. En términos de habilitar flujos de datos, esto significa definir la forma de recopilar, conectar e ingestar datos desde la zona de producción hasta la plataforma de IIoT.

Recopilación
El principal desafío de integrar fuentes de datos históricamente aisladas y funcionalmente dispares en un *stack* de soluciones IIoT es que los requisitos funcionales de los sistemas de IT y OT son muy diferentes. Estas diferencias pueden atribuirse en gran medida a las características de los datos que se producen y consumen: la velocidad requerida, la importancia relativa, la cantidad y la complejidad. Históricamente, los sistemas OT se han separado de los sistemas IT, pues requieren transferencias de datos deterministas y repetibles de alta velocidad entre sistemas especialmente diseñados. La idea de "conectar" simplemente los sistemas OT a una arquitectura de solución IIoT más grande puede llevar, en el peor de los casos, a fallos y brechas de seguridad, si no se consideran cuidadosamente los requisitos funcionales de las tres características anteriores.

Dado que la integración de las fuentes de datos existentes en zonas industriales es uno de los principales desafíos de la digitalización de la planta de producción (véase el Cuadro de texto 5), la plataforma, el software y los proveedores de equipos especializados han hecho un considerable esfuerzo para permitir el acceso a los datos disponibles. En la medida en que hoy existen interfaces estandarizadas para la mayoría de los puertos de comunicación patentados, y éstas están listas para ser utilizadas por plataformas IIoT, el desafío ha pasado de ser un tema terriblemente complicado a ser un problema complejo, pero con solución.

Además, la comunicación desde los dispositivos periféricos hacia la plataforma y entre dispositivos de la zona de producción se armonizará con estándares como OPC Unified Architecture. Este estándar abierto para la comunicación, ofrecido por un proveedor independiente, ha sido designado como el estándar de facto por todos los segmentos de la industria y permite una fácil integración de los dispositivos periféricos basada en una publicación clara y rutinas de suscripción, al tiempo que permite los más altos estándares de seguridad y datos. Incluye protocolos de comunicación modernos y ligeros como MQTT, que permiten conexiones con dispositivos remotos que ejecutan código optimizado compatible con redes de ancho de banda muy bajos.

Cuadro de texto 5: Cómo superar las dificultades de un proyecto *brownfield*

El desafío de conectar rápidamente el parque de plantas industriales existentes a la plataforma IIoT es fundamental para implementar soluciones IIoT a escala. Aunque a menudo se presenta como una simple cuestión de solo plug and play, es un tema que debe abordarse con un plan de acción cuidadosamente pensado y claramente estructurado. Hacerlo mal no solo significará costosas iteraciones y retrasos, sino que puede llevar rápidamente a la frustración del equipo y producir sorpresas no deseadas en las últimas etapas de la implementación de la plataforma, como lecturas de sensores erróneas.

En base a las lecciones aprendidas en la práctica, las siguientes "mejores prácticas" pueden proporcionar orientación para superar con éxito las dificultades que presenta un proyecto *brownfield*:

1) **Comprenda claramente las necesidades de datos del caso de uso.** Cada caso de uso presentará un conjunto de necesidades de datos distinto, el cual, a su vez, creará requisitos para las mediciones de sensores disponibles. Aunque el paradigma de "analizar todo" puede ser útil en entornos en los que los datos ya se encuentran ampliamente disponibles, no es factible en situaciones en las que cada punto de datos podría venir con el coste adicional de un nuevo sensor. En cambio, los equipos deben usar su ingenio para comprender qué datos serán necesarios para realizar el caso de uso teniendo en mente la naturaleza de las máquinas y su física (por ejemplo, monitorizar el estado de los cojinetes usando un sensor de vibración). Se debe crear una plantilla maestra que contenga todos los tipos de datos requeridos (unidades de medición, formatos de datos), frecuencia de medición y medios de almacenamiento (por ejemplo, duración), así como la forma en que se utilizarán.

2) **Analice el suministro de datos de las máquinas que se van a conectar.** Cada máquina de la zona de producción llevará una multitud de sensores, que son necesarios para el funcionamiento estándar. A menudo, sin embargo, las lecturas del sensor no están disponibles para el exterior, pues permanecen dentro de los bucles de control de la máquina y su PLC. Aunque existen interfaces para el intercambio de datos, estas pueden haber sido bloqueadas por el proveedor de

la máquina y ser inaccesibles para el usuario, o podrían no ofrecer el ancho de banda necesario, o no permitir ningún intercambio continuo de datos o, simplemente, ser demasiado viejas para conectarse a interfaces modernas.
Solo mediante la evaluación de los datos disponibles basados en la plantilla maestra creada en el paso 1 se pueden identificar a fondo las carencias que puedan existir. Entonces se necesitarán sensores adicionales, que ofrecen la oportunidad de crear una infraestructura más moderna, pero podrían presentar la necesidad de alterar físicamente la máquina y, por lo tanto, siempre se deben implementar con precaución (también se deben considerar las garantías).

3) **Resuelva las carencias con soluciones sólidas.** A menudo existen varias soluciones disponibles para solventar las carencias identificadas en la plantilla maestra, como agregar una unidad de hardware adicional a los PLC de una máquina, desbloquear la interfaz de datos de una máquina a través del proveedor de la misma, o instalar nuevos sensores. Para que las empresas puedan decidir qué solución elegir, se deben considerar los costes de compra, la facilidad de implementación y la facilidad de uso, pero también la solidez de la solución en sí. Un nuevo sensor puede ser barato y proporcionar exactamente la medición necesaria, pero puede fallar con frecuencia debido a externalidades imprevistas (por ejemplo, polvo). La solución elegida debe contar con un historial exitoso en la práctica.

Conectividad

La conectividad es un habilitador crucial para cualquier esfuerzo en el espacio digital, ya que permite el transporte de los datos desde su origen hasta el lugar en el que se necesitan para generar conclusiones. Sin embargo, debido a infraestructuras antiguas, la conectividad se convierte a menudo en un importante obstáculo y debe ser atendida con la misma diligencia que la selección de los dispositivos de integración de datos.

En la actualidad, las fábricas todavía están en su mayoría cableadas, pero las conexiones inalámbricas están aumentando. En la mayoría de estos casos, el wi-fi es la tecnología inalámbrica preferida, y con el avance del wi-fi 6 se está acercando al 5G en términos de funcionalidad y rendimiento. No obstante, el 5G presenta algunas ventajas: fiabilidad del espectro con licencia, amplia disponibilidad de ancho de banda con la introducción de mmWave (banda milimétrica), gestión de interferencias y equipo estandarizado que asegura el nivel esperado de rendimiento independientemente del proveedor o la especificación elegida.

Se puede esperar que el wi-fi continúe desempeñando un papel importante, ya que es un ecosistema mucho más establecido en comparación con las tecnologías móviles actuales, y operar una red wi-fi es mucho más fácil en comparación con una red móvil, ya que las verticales industriales todavía no tienen experiencia en redes móviles. Sin embargo, en los casos en que el wi-fi llega a sus límites, muchas fábricas se están interesando en la tecnología 5G, por ejemplo, en escenarios donde hay una gran cantidad de dispositivos en un espacio bastante reducido, tráfico complejo, requisitos de funcionalidad de misión crítica, o un área amplia por cubrir. El wi-fi se opera en un espectro sin licencia, y si bien esto brinda a los proveedores de equipos y software mucha más flexibilidad en las especificaciones, lleva a una mayor volatilidad en el rendimiento; el espectro 5G con licencia podría ser una mejor solución en los escenarios mencionados anteriormente. Véase el cuadro de texto 6 para una comparación de 5G versus tecnologías rivales.

Cuadro de texto 6: la sólida propuesta de valor del 5G para el sector de manufactura

Las empresas del sector de manufactura están interesadas en la tecnología 5G porque proporciona simultáneamente alta velocidad, latencia ultra-baja, alta fiabilidad y puede admitir una gran cantidad de dispositivos con varios tipos de tráfico: todo mientras ahorra costes de cableado y permite una verdadera movilidad para todos los dispositivos (Ilustración 24).

Una vez dicho esto, la tecnología 5G coexistirá con el wi-fi y la conectividad por cable en un futuro próximo en entornos industriales, permitiendo la próxima ola de aplicaciones IIoT y fomentando la automatización. Al mismo tiempo, esto inevitablemente aumentará la complejidad de las operaciones a corto plazo porque, por ejemplo, las fábricas no están acostumbradas a operar redes móviles. Esto puede cambiar cuando implementar y ejecutar una red privada 5G se vuelva tan fácil como una red wi-fi, pero hasta entonces, se puede esperar un plan de manufactura IIoT basado tanto en 5G como en wi-fi[11].

11 Para una discusión detallada sobre la importancia futura del estándar 5G en la industria manufacturera, véase: Ondrej Burkacky, Alexander Hoffmann, Stephanie Lingemann y Markus Simon, “The 5G era: New horizons for advanced-electronics and industrial companies”, McKinsey & Company, 21 de febrero de 2020, https://www.mckinsey.com/industries/advanced-electronics/our-insights / the-5g-era-new-horizons-for-advanced-electronics-and-industrial-companies.

Ilustración 24

El estándar 5G ofrece ventajas significativas en comparación con las tecnologías de conectividad usadas hoy por el sector de la manufactura

	Movilidad	Adición de sensores/ dispositivos	Latencia[2]	Jitter	Rendimiento	Espectrum[3]
Ethernet / Red fija	Limitada por cable	Complejo porque hay que recablear	<1 ms	~40 µs	10+ Gbps	n/a
Wi-Fi 5	Sí, rango más bajo en comparación con 5G en el mismo espectro	Más fácil que el cableado	~30 ms	<30 ms	~3 Gbps	Sin licencia hasta 120 MHz de ancho de banda
Wi-Fi 6			~10 ms	<10ms	10+ Gbps	
5G[1]	Si	Más fácil que el cableado	<1 ms	10–100 µs	10+ Gbps	Ancho de banda con licencia de 100-500+ MHz, dependiendo de la banda

1. Suponiendo banda media o mmWave
2. Los tests de velocidad son indicativos; las implementaciones objetivo del 5G en la vida real son >20 ms dependiendo de la proximidad de los dispositivos y la computación
3. Varía dependiendo de la región

Fuente: McKinsey

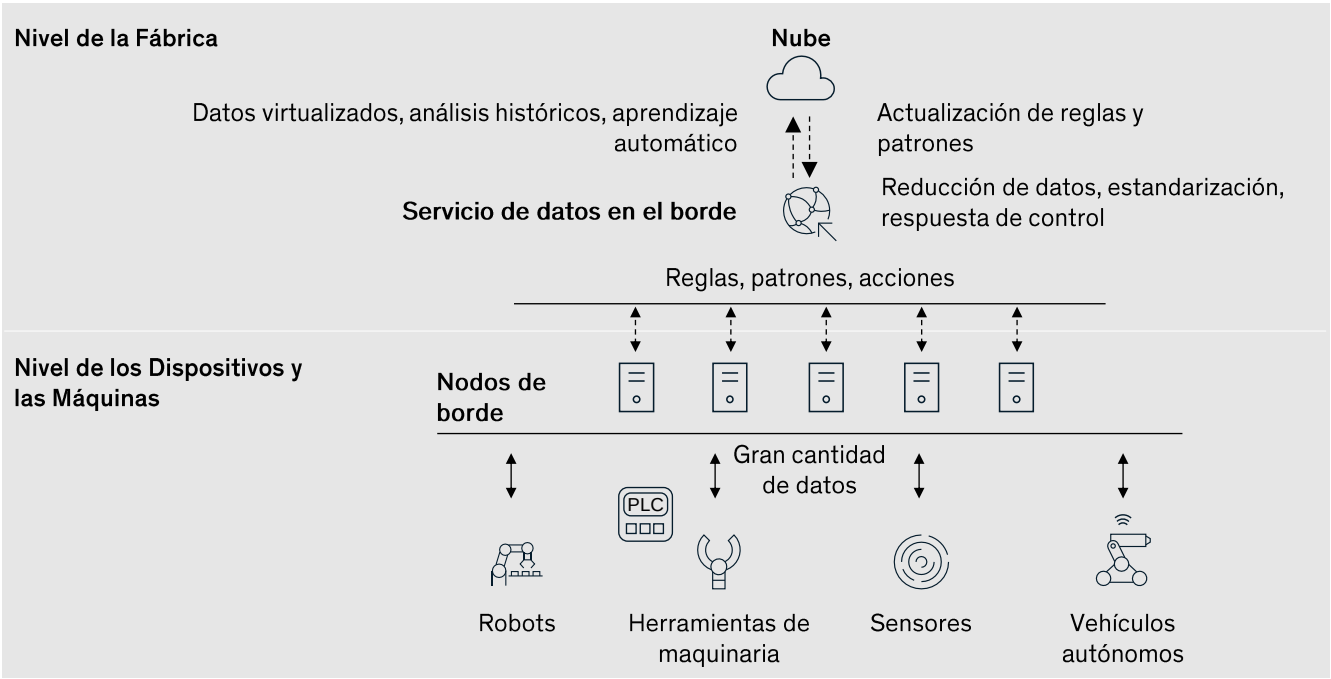
Ingesta

Gran parte de la destreza de una plataforma IIoT se basa en la utilización de soluciones modernas en la nube, que ofrecen gran potencial para escalar fácilmente la potencia de procesamiento, habilitar soluciones de gestión de datos modernas y proporcionar acceso a una amplia variedad de soluciones de software para visualización de datos, aprendizaje automático y análisis de datos. Aun así, se necesitan interfaces físicas para recopilar los datos de la zona de producción. El hardware utilizado para ingerir datos y enviarlos a la plataforma IIoT debe estar conectado a los dispositivos (por cable o de forma inalámbrica) y debe poder comunicarse tanto con el dispositivo como con la plataforma. Debido a factores limitantes como el ancho de banda, los problemas de seguridad o la necesidad de cálculos instantáneos en sistemas de circuito cerrado, la descentralización de la potencia de procesamiento se vuelve a veces necesaria, lo cual hace que los dispositivos de ingestión pasen de ser simples interfaces a ser unidades capaces de procesamiento. Estos nodos de cálculo forman parte de la denominada computación de borde (*edge computing*) y normalmente se implementan con una asignación clara de tareas entre lo que se procesa en el borde y en la nube (Ilustración 25).

Por lo general se elige un enfoque escalonado, que combina diferentes tipos de computación de borde y nubes públicas, mientras se integran servidores locales (véanse los cuadros de texto 7 y 8).

La arquitectura futura de IIoT utiliza los beneficios de la computación de borde (edge-computing) con una clara asignación de tareas en el borde vs. en la nube

Nivel de la Compañía



Consideración de la inteligencia de borde	Beneficios técnicos	Beneficios económicos
Análisis de transmisión en tiempo real basado en procesamiento de eventos complejos (CEP)	Diseñado para aplicaciones industriales avanzadas, de baja latencia y de circuito cerrado	Información útil y más rápida para una mayor eficiencia operativa (tiempo de actividad, rendimiento, ahorros de energía)
Aprendizaje automático iterativo sobre datos industriales en vivo	Inferencia continua de todos los datos del sensor (incl. vídeo, audio) para aprendizaje automático de circuito cerrado	Información predictiva de mayor calidad para impulsar el rendimiento de los activos y mejoras en los procesos
Requisitos de transporte y persistencia de datos radicalmente más bajos	El procesamiento de datos en vivo en la fuente reduce los recursos de almacenamiento y redes de datos	Reduce los costes de comunicaciones y almacenamiento en la nube de 100 a 1000 veces
Postura de seguridad mejorada	Elimina la necesidad de transmitir datos OT críticos a través de redes	Reduce la infraestructura de seguridad, la mitigación de riesgos y los costes de cumplimiento normativo
Agnóstico en la nube	Evita el bloqueo del proveedor de la nube y facilita las estrategias de nube híbrida o múltiple	Aumenta el poder de negociación con los proveedores de la nube y reduce los costes de abastecimiento
Aprovecha el conocimiento tribal de la OT	Traduce la experiencia del dominio del operador en expresiones analíticas y modelos de aprendizaje automático	Más barato y rápido que la reprogramación de PLC, evitando costosos ejercicios de IA basados en la nube
Utiliza hardware de controlador y computación de borde compacto	Se ejecuta en sistemas de control industrial o dispositivos de computación de borde altamente restringidos	Minimiza las inversiones en computación pesada o en hardware de sistemas de control industrial nuevo
Precios basados en suscripción (no basados en consumo)	Más fácil de proyectar los requisitos de escala después de las pruebas de concepto iniciales	Costes operativos más controlables / predecibles, radicalmente más baratos para aplicaciones con uso intensivo de datos

Fuente: Cisco; McKinsey

Cuadro de texto 7: Cómo resolver el "desafío del tiempo real" con edge analytics

La decisión técnica sobre dónde y cómo procesar los datos, y hasta dónde se transportan, está relacionada íntimamente con la pregunta sobre los requisitos de latencia de cada caso de uso. Por un lado, puede que enviar algunos kilobytes de datos de medición de temperatura a la nube cada minuto más o menos para visualizarlo en un tablero simplificado no sea un problema. Pero, por otro lado, es posible que sea físicamente imposible transmitir un vídeo de alta resolución a una plataforma en la nube, analizarlo con visión artificial y enviar los resultados dentro de un marco de tiempo minúsculo para cumplir con ciertos requisitos del proceso. El transporte físico está limitado por la velocidad de la luz, pueden surgir problemas de ancho de banda y el procesamiento simplemente podría requerir demasiado tiempo para permitir casos de uso en “tiempo real” con una latencia muy baja.

Si los datos se van a utilizar para estudiar o controlar de manera detallada estas tareas, entonces todo el proceso —desde el sensor al algoritmo y a la unidad de control— debe suceder en menos de un segundo. La *edge computing* puede ser la solución que permita una latencia muy baja, al tiempo que permite una alta flexibilidad, facilidad de uso y la potencia de procesamiento conocida de la nube. Los PC industriales equipados con un procesamiento central robusto y hardware de procesamiento de gráficos ofrecen la potencia computacional necesaria para analizar flujos de datos muy cerca de su origen.

Incluidos en la plataforma IIoT, los PC industriales están equipados con software con capacidad de análisis y comunicación dentro del entorno de la plataforma. Los proveedores de plataformas de IIoT modernas ofrecen software listo para usar e incluir PC industriales como nodos de borde en el ecosistema general, con rutinas amigables para configurar y administrar esta potencia de procesamiento descentralizada. Basado en los requisitos de latencia de cada caso de uso, el diseño de la plataforma *core* debe tener en cuenta la distribución de la potencia de procesamiento en la plataforma de *edge computing*. Hay diferentes soluciones disponibles que ayudan a resolver el desafío del tiempo real:

— **Preprocesamiento de datos en la plataforma de *edge computing*.** El dispositivo de borde sirve como un nodo de comunicación con la plataforma y ayuda a transformar los flujos de datos "sin procesar" de gran ancho de banda en datos preprocesados de ancho de banda bajo que ya transportan más información (por ejemplo, transformar datos de vibración sin procesar en espectros de frecuencia). Esto supera las limitaciones del ancho de banda y ayuda a distribuir el poder de computación, mientras que la información real todavía se produce en los servidores locales o en la nube.

— **Análisis completo en la plataforma de *edge computing*.** El dispositivo de borde es totalmente capaz de recopilar y procesar los datos de los sensores, al estar equipados no solo con el hardware correcto, sino que también funcionan con software complejo. Cuando se utilizan algoritmos de aprendizaje automático para obtener el significado de los datos (por ejemplo, visión artificial con redes neuronales), una red neuronal fácilmente entrenada se ejecuta en el dispositivo de borde. El reentrenamiento a menudo se realiza en la nube o en servidores locales, aunque es posible hacerlo de otra manera.

— **Control basado en IA en la plataforma de *edge computing*.** Dado que los dispositivos de borde modernos son capaces de analizar datos con latencia muy baja, el siguiente paso de la evolución será utilizar el sistema descentralizado de inteligencia para controlar directamente los procesos dentro del proceso de producción. Estos sistemas de control de bucle cerrado basados en análisis de borde permitirán el ajuste autónomo de los parámetros del proceso para corregir automáticamente los desvíos del proceso predefinido y mitigar los defectos antes de que ocurran.

Además de los dispositivos periféricos —que son, después de todo, componentes de hardware adicionales que pueden requerir mantenimiento—, los proveedores de la nube moderna ofrecen otra solución potencial para el cálculo de baja latencia en forma de distribuciones de servidores locales dentro de redes móviles 5G. Los servidores en la nube utilizan la infraestructura del operador y se despliegan en un perímetro definido. Por lo tanto, la transferencia de datos físicos a través de la red 5G utiliza los caminos más cortos posibles para permitir una latencia muy baja. Si los proveedores de servicio en la nube ofrecen también redes 5G privadas (*5G campus networks*), los clientes pueden utilizar estos servicios dentro de su propia red para hacer uso pleno de la infraestructura moderna en la nube y las destrezas de 5G.

Cuadro de texto 8: Consideraciones sobre la computación de borde (*edge computing*) en industrias discretas y de procesos

Las industrias de procesos suelen tener una arquitectura de control distribuida, con grupos de controles de supervisión, salas de control y sistemas de adquisición de datos para el control de la producción, que se ejecuta por lo general mediante múltiples pantallas grandes y puntos de ajuste por parte de los operadores para dirigir de manera centralizada equipos y procesos de planta distribuida.

A mediados de la década de 1990, se desarrolló el marco OPC Data Access para permitir conexiones estandarizadas de equipos basados en Microsoft Windows® con sistemas de automatización patentada de múltiples proveedores. El marco ha evolucionado hacia la versión OPC Unified Architecture, más nueva y versátil, que permite la conectividad con sistemas y subsistemas no basados en Microsoft Windows®.

Con OPC, la computación de borde ha sido una práctica estándar durante mucho tiempo, con soluciones de valor agregado y subsistemas conectados a sistemas de control distribuido. Son muy comunes los sistemas Process Historian de planta: esencialmente, gestores de registro de datos sofisticados basados en Microsoft Windows®. Estos registran todos los datos del proceso en una serie de tiempo y los almacenan para poder recuperarlos de forma más rápida en el futuro. Dados estos precedentes, la computación de borde en industrias de proceso con procesamiento de datos local no es un concepto nuevo. Sin embargo, la computación en la nube sí lo es. Las nuevas soluciones, usando analítica avanzada e IA, incluyen la clonación del enfoque del Process Historian y la conexión directa a un sistema de control a través de OPC Data Access o Unified Architecture. El procesamiento de datos también ocurre localmente en la plataforma de computación de borde con mínima latencia y retrasos, y máxima eficiencia.

A diferencia de la industria de procesos, la manufactura discreta muestra un mayor grado de descentralización de la OT. Esto se debe al mayor número de fabricantes especializados y jugadores de nicho que equiparon históricamente sus máquinas con unidades de control especializadas que permitían procesamiento de datos en tiempo real dentro de la máquina. Como resultado, la necesidad de consolidar los datos de un ecosistema de datos amplio y heterogéneo es alta, dando lugar a nuevas ofertas de software IIoT. Una de estas incluye capas intermedias de software moderno con una amplia variedad de interfaces a diferentes máquinas para permitir la recopilación e ingesta de datos.

Hacer que las soluciones periféricas sean compatibles con la nube y buscar el mejor valor desde el procesamiento de datos local y central será el camino a seguir. Un ejemplo de esto es procesar datos locales mientras se compara simultáneamente el desempeño local contra el desempeño de los sistemas parejos mediante el uso de la nube, o se extrae otra información complementaria de la nube para un mejor rendimiento.

Paso 3: Gestionar eficazmente los desafíos de ciberseguridad en la convergencia de IT-OT

El IIoT está aumentando drásticamente la cantidad de dispositivos conectados desplegados en plantas industriales, la cantidad de datos ingeridos rutinariamente de tales dispositivos, y el grado de descentralización y agregación central y análisis de estos datos. Como consecuencia, se puede esperar que estas tendencias hacia un aumento en el detalle, la conectividad y la agregación causen una mayor exposición a ataques.

En vista de esto, hemos identificado una serie de características de las empresas de manufactura que hacen que la OT sea difícil de proteger:

— Los sistemas *legacy* y las vulnerabilidades inherentes a la tecnología de una organización, entre otros, registros y mecanismos de seguridad limitados, hacen que la OT sea particularmente difícil de proteger.

— Debido a la alta dependencia de los OEM para el suministro y la gestión de la OT, la capacidad del propietario para implementar la seguridad de los sistemas OT es limitada (en comparación con IT).

— Las tendencias en las prácticas de gestión de proveedores han aumentado el predominio de conexiones remotas y el número de terceros conectados a la red.

— Dentro de la organización, la responsabilidad poco clara de la ciberseguridad de los sistemas de OT y los estándares poco definidos hacen que la aplicación de controles de ciberseguridad en OT sea todo un reto.

— Los bajos niveles de concienciación en ciberseguridad entre quienes toman las decisiones en cuanto a OT y otras prioridades de negocio rivales restringen la capacidad de implementar medidas de seguridad.

— La escasez de competencias en ciberseguridad se amplifica en el caso de la OT, donde se requieren especialistas con amplias competencias.

— Existen restricciones comerciales y técnicas, como la imposibilidad de cerrar líneas de producción para parchear un sistema operativo antiguo o implementar soluciones urgentes. Además, el concepto de IIoT se enfoca en cuatro áreas, cada una de las cuales presenta sus propios problemas de seguridad:

Además, el concepto de IIoT se enfoca en cuatro áreas, cada una de las cuales presenta sus propios problemas de seguridad:

— Redes de área local para recopilar y procesar localmente los datos de sistemas de control industrial conectados

  → Problema de seguridad: falta de autenticación y seguridad en los sensores del proceso.

— Transmisión de datos a la nube a través de pasarelas

  → Problema de seguridad: falta de seguridad en protocolos y pasarelas.

— Procesamiento y almacenamiento de datos en la nube a través de plataformas adecuadas y algoritmos específicos como big data

  → Problema de seguridad: falta de seguridad de los datos.

— Interfaz entre plataformas y usuarios finales para monitorización

  → Problema de seguridad: falta de protocolos de comunicación seguros.

Los datos comprometidos pueden provocar daños en el equipo u otros problemas operativos imprevistos, así como problemas normativos e incluso peligros para la seguridad personal. Esto significa que el entorno de la computación en la nube presenta desafíos operativos y de seguridad que deben ser abordados, especialmente en entornos OT que nunca fueron diseñados para acceso remoto.

Para traer datos adicionales necesarios para el análisis de big data, las aplicaciones y redes IIoT generalmente se construyen o aumentan con dispositivos de sistemas de control industrial existentes y, por tanto, heredan la falta de seguridad de estos dispositivos. Más aun, los dispositivos interconectados actualmente utilizan protocolos customizados o puertos de enlace para acceder a protocolos universales, como OPC Unified Architecture. Sin embargo, desafortunadamente estos protocolos personalizados o puertos de enlace con frecuencia se desarrollan sin suficientes consideraciones de seguridad.

La implementación de controles de seguridad en toda la organización también requiere una sólida comprensión de la arquitectura de red en los entornos de IT y OT. Esto se debe a que comprender la arquitectura de red ayuda a una organización a analizar mejor de dónde proviene una amenaza y qué controles deben aplicarse en la arquitectura de la red para repeler la amenaza.

En este contexto, y en respuesta a la aceleración de la digitalización con la convergencia de IT y OT, las funciones de ciberseguridad más sofisticadas están comenzando a transformar las capacidades de las organizaciones en tres dimensiones: el uso de análisis cuantitativo de riesgos para la toma de decisiones, la incorporación de ciberseguridad en la cadena de valor del negocio y la habilitación de plataformas operativas de nueva tecnología que combinan muchas innovaciones12. Estas innovaciones incluyen enfoques ágiles, robótica, la nube y DevOps (la combinación de desarrollo de software y operaciones de IT y OT para acortar los tiempos de desarrollo y ofrecer nuevas funciones, correcciones y actualizaciones alineadas con el negocio).

Uso de análisis cuantitativo de riesgos para la toma de decisiones
Las empresas están comenzando a fortalecer sus entornos comerciales y tecnológicos con análisis cuantitativo de riesgos para poder tomar mejores decisiones basadas en hechos. Esto incluye segmentación sofisticada de empleados y contratistas, así como análisis de comportamiento para identificar signos de posibles amenazas internas, como patrones sospechosos de actividad de correo electrónico. También incluye autenticación basada en riesgos que considera metadatos —como la ubicación del usuario y la actividad de acceso reciente— para determinar si conceder acceso a sistemas críticos. En última instancia, las empresas van a comenzar a usar tableros de control que unan los activos comerciales, la inteligencia de amenazas, las vulnerabilidades y la mitigación potencial para ayudar a los altos ejecutivos a hacer las mejores inversiones en ciberseguridad. Como parte de la configuración de este panel, se deben tomar las siguientes medidas:

12 En este contexto, véase también: James Kaplan, Wolf Richter y David Ware, “Cybersecurity: Linchpin of the digital enterprise”, McKinsey & Company, julio 19 de 2019, https://www.mckinsey.com/business-functions/risk/our-insights/cybersecuritylinchpin of-the-digital-enterprise; James Kaplan, Chris Toomey y Adam Tyra, “Critical resilience: Adapting infrastructure to repel cyberthreats”, McKinsey & Company, enero 15 del 2019, https://www.mckinsey.com/industries/travel-logistics-and-transport-infrastructure/our-insights/critical-resilience-adapting-infrastructure-to-repelcyberthreats; Johannes Deichmann, Benjamin Klein, Gundbert Scherf y Rupert Stuetzle, “The race for cybersecurity: Protecting the connected car in the era of new regulation”, McKinsey & Company, octubre 10 de 2019, https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/the-race-for-cybersecurity-protecting-theconnected-car-in-the-era-of-new-regulation.

— Es necesario configurar un *framework* de análisis de amenazas para que la organización pueda disponer de la última información sobre amenazas y esté preparada para hacer frente a ellas.

— Los controles de seguridad de referencia deben implementarse en todas las capas de los entornos de la organización.

— El análisis de amenazas y las soluciones de correlación que pueden recopilar información en diferentes entornos se deben aprovechar para ayudar al equipo de gestión a tomar decisiones.

Al tomar estas medidas, las empresas podrán enfocarse en áreas del negocio que requieran la mayor protección, de la manera menos disruptiva y más rentable.

Integración de ciberseguridad en la cadena de valor
Toda empresa digital intercambia datos sensibles e interconecta redes con clientes, proveedores y otros socios comerciales. Como resultado, los temas de confianza relacionados con la ciberseguridad y la carga de protecciones mitigantes se han vuelto fundamentales para las cadenas de valor en muchos sectores, incorporando los siguientes imperativos:

— La visión, estrategia y ejecución de un plan de negocios deben incluir seguridad, fiabilidad, y prevención. Estos elementos deben ser parte del proceso de planificación de negocio en todos los niveles de todos los tipos de organizaciones (desde proveedores de soluciones de IoT hasta clientes).

— La seguridad debe ser “responsabilidad” de una persona de nivel ejecutivo, la cual será responsable de los entornos tanto de IT como de OT. La política de seguridad, gobierno y educación del usuario final deben extenderse en los entornos de IT y OT, a medida que los sistemas se interconectan.

— Las tecnologías y amenazas en los entornos de IT y OT deben ser claramente entendidas, entre otras el hecho de que las tecnologías que funcionan en el entorno de IT pueden no funcionar necesariamente en el entorno de OT y las amenazas pueden ser diferentes entre entornos IT y OT.

— La organización debe comprender que afrontar el riesgo tanto en entornos OT como en entornos IT incluye la gestión de versiones, estados, últimas actualizaciones, sistema de control de versiones, versiones de parcheado, etc.

Es importante destacar que se deben realizar evaluaciones de riesgo periódicas en todos los entornos para identificar vulnerabilidades y garantizar la existencia de controles de seguridad adecuados. Al extender este imperativo, las empresas líderes están comenzando a incorporar ciberseguridad en las relaciones con sus clientes, los procesos de producción y las interacciones con proveedores. Algunas de sus tácticas incluyen las siguientes:

— Analizar encuestas de seguridad para comprender lo que esperan los clientes de negocio y crear bases de conocimiento para que los equipos de ventas puedan responder a las consultas de seguridad del cliente durante las negociaciones y minimizar las desavenencias. Por ejemplo, un proveedor SaaS encontró que sus clientes insistían en tener cláusulas de pérdida de datos particularmente sólidas.

— Tratar la ciberseguridad como una característica central del diseño de producto.

— Educar a los empleados sobre cómo utilizar los canales y tecnologías digitales de forma segura y protegida.

— Tener una visión amplia de la seguridad tradicional de IT y OT para eliminar vulnerabilidades. Un proveedor de piezas de automóviles descubrió que el sistema que contiene la versión maestra de algunos de sus firmware podría servir como un vector de ataque a los sistemas de inyección de combustible que fabricaba. Gracias a ese descubrimiento, pudo implementar protecciones adicionales.

— Usar la inteligencia de amenazas, indagando de forma externa en redes tecnológicas de proveedores y así evaluar el riesgo de vulnerabilidad.

— Establecer controles robustos para el acceso remoto y la segmentación de la red y la segregación adicional en zonas a través de redes privadas virtuales.

Proveer una plataforma operativa ágil basada en la nube, mejorada por DevSecOps
Muchas empresas parecen estar intentando cambiar todas sus operaciones de IT y OT al mismo tiempo para acelerar la digitalización: están reemplazando los procesos tradicionales de desarrollo de software con metodologías ágiles y, al mismo tiempo, incorporando talento ingenieril de proveedores y dándoles a los desarrolladores acceso autoservicio a la infraestructura. Algunos incluso se están deshaciendo totalmente de sus centros de datos mientras aprovechan los servicios en la nube.

— Claramente, todo esto se está haciendo para que la tecnología sea lo suficientemente rápida y escalable como para apoyar las aspiraciones digitales de la empresa. Sin embargo, implementar un modelo de tecnología moderno requiere un modelo operativo de ciberseguridad mucho más flexible, receptivo y ágil. Los principios claves de este modelo incluyen:

— Cambiar el modelo de talento para incorporar a aquellos perfiles con habilidades *e-shaped*: profesionales en ciberseguridad con varias áreas de conocimiento profundo en convergencia IT-OT, tales como resolución integral de problemas, automatización y desarrollo, así como en tecnologías de seguridad.

— Pasar de interfaces basadas en tickets a APIs para servicios de seguridad. Esto requiere automatizar cada posible interacción e integrar la ciberseguridad en el kit de herramientas de desarrollo de software. Eso permitirá a los equipos de desarrollo realizar análisis de vulnerabilidades, ajustar las reglas de prevención de pérdida de datos, configurar la seguridad de la aplicación y obtener acceso a los servicios de administración.

— Organizar equipos de seguridad en equipos ágiles, scrum o scrumban que gestionen servicios reconocibles por desarrolladores, como gestión de identidad y acceso o prevención de pérdida de datos. También puede ser útil reclutar líderes de equipos de desarrollo para que actúen como *product owner* de los servicios de seguridad, así como los gerentes comerciales son *product owners* para la experiencia del cliente y los servicios orientados al cliente.

— Integrar estrechamente la seguridad en los servicios al usuario final de la empresa, para que los empleados y los contratistas puedan acceder fácilmente a las herramientas de productividad y colaboración a través de un portal intuitivo.

— Crear un modelo de seguridad nativo en la nube que garantice que los desarrolladores puedan acceder a los servicios de nube de manera instantánea y fluida dentro de ciertos límites.

— Colaborar con equipos de infraestructura y arquitectura en IT y OT para convertir los servicios de seguridad necesarios en soluciones estandarizadas para análisis masivo y automatización de procesos robotizados (RPA). Estas soluciones comprenden lo siguiente:

  - Sistemas de detección y prevención de intrusiones basados en host de IT y OT de última generación, incluidos todos los protocolos IoT e IIoT.
  - Protección antimalware y ransomware para entornos de IT y OT.
  - Whitelisting, tanto para entornos de IT como para entornos de OT.
  - Tecnología de aislamiento de red que pueda analizar y monitorizar vulnerabilidades y amenazas en los diferentes tipos de protocolos de IoT sin afectar los procesos operativos.
  - Tecnologías de cifrado para proporcionar autenticación y verificación, los cuales son imprescindibles en todos los dispositivos y sistemas de control de IoT
  - Tecnología para administrar versiones de dispositivos, sistemas de control, parches y similares tanto en IT como OT.
  - APIs que se pueden integrar directamente a los dispositivos.
  - Capacidades de seguridad en forma de kits de desarrollo de software (SDKs) o programación de aplicaciones.

Todas estas acciones han demostrado ser absolutamente necesarias para la seguridad de una organización. Sin ellas, los fallos de ciberseguridad ocurren con más frecuencia y, a menudo, con consecuencias más graves. Las acciones necesarias, sin embargo, se encuentran en tensión con el modelo de negocio digital emergente —el resultado de una transformación digital de extremo a extremo— de la interfaz del cliente, a través de los procesos de back-office. A medida que las empresas buscan utilizar servicios de nube pública, a menudo encuentran que la seguridad es el punto más crítico, la parte más intratable del problema de alojar aplicaciones en la infraestructura de la nube pública[13].

Paso 4: Seleccionar un socio en lugar de un proveedor para ayudar a implementar la plataforma

Dada la complejidad de crear una arquitectura objetivo y elegir la configuración técnica adecuada de la plataforma IIoT, no es sorprendente que la selección del proveedor para la plataforma sea un paso importante hacia una implementación exitosa. Como ocurre con todas las decisiones importantes, la selección de proveedores debe basarse en una evaluación estructurada de diferentes alternativas. En la búsqueda del socio de implementación perfecto se deben evaluar cuidadosamente las siguientes dimensiones de la plataforma:

— **Modelo de negocio.** ¿Permite a los clientes crear su propia oferta? ¿Cómo habilita el escalado? ¿Quién es el propietario de los datos?

— **Disponibilidad del mercado.** ¿Es comprensible el modelo de precios? ¿Cómo de efectiva es la configuración organizativa?

— **Oferta de casos de uso.** ¿Existen casos de éxito completamente implementados?

— **Capacidades de desarrollo existentes.** ¿Cuál es el grado de interés dl proveedor en el desarrollo posterior de la plataforma? ¿Hay una comunidad de desarrolladores viva?

13 Para más detalles sobre este tema, véase: James Kaplan, Wolf Richter y David Ware, “Cybersecurity: Linchpin of the digital enterprise”, McKinsey & Company, julio 19 de 2019, https://www.mckinsey.com/business-functions/risk/our-insights/cybersecurity-linchpin-of-the-digital-enterprise.

— **Tecnología**. ¿Cómo de abierta y modular es la plataforma? ¿Ofrece un plan de seguridad avanzado?

— **Operaciones**. ¿Cuál es el grado de avance en la gestión de versiones y el control de actualizaciones? ¿Cómo de fluido es el soporte?

El socio adecuado se debe seleccionar según criterios que no solo contengan precios y dimensiones técnicas, sino que también incluyan una ventaja competitiva para futuros desarrollos. Esto se puede evaluar observando de cerca los componentes de la sociedad, como la estrategia societaria (por ejemplo, ¿cuál es la estrategia para encontrar socios que brinden sus propios servicios y soluciones a través de su plataforma?), las capacidades de desarrollo (p. ej., ¿cómo de interesado está el proveedor en desarrollar la plataforma a futuro?), y la integración en la comunidad de desarrolladores (por ejemplo, ¿hay una comunidad de desarrolladores activa, que proporcione sus propias aplicaciones, activos o soluciones en la plataforma?).

3.2 Plataforma IIoT: el imperativo de la nube en el sector de manufactura

El enfoque común de la industria hacia la nube, prioriza el reemplazo de actividades claves de IT, acceso a infraestructura bajo demanda, provisión de capacidad de cómputo, almacenamiento, servicios de base de datos y otros. Estos son elementos precisos y son los que contemplan principalmente los líderes de una organización para tomar una decisión. Sin embargo, a menudo estos últimos pierden de vista el impacto más amplio que puede tener la nube en la transformación del modelo operativo completo de IT y, más importante aún, en el negocio[14]. En consecuencia, cuando se disponen a escribir un caso de negocio, pasan meses analizando los costes locales en comparación con los costes de la nube y dedican mucho menos tiempo al principal impulsor de valor de la nube: los beneficios comerciales.

Muchas empresas industriales se enfrentan a desafíos derivados de sistemas demasiado complejos. Por ejemplo, una empresa emprendió un viaje para racionalizar más de 30 sistemas de planificación de recursos empresariales (ERP) que había acumulado durante una serie de adquisiciones. Esta complejidad limitaba la transparencia y volvía más lentos los procesos de manufactura, la cadena de suministro y otras funciones de negocio. Los datos que podrían ayudar a la empresa a mejorar el negocio solo existían en hojas de cálculo y en sistemas dispersos por toda la organización. Escalar cualquier idea para crear un impacto real demandaba un programa plurianual.

Usar la nube para resolver estos desafíos de negocio no ha sido fácil. Muchas migraciones a la nube han fracasado porque las empresas no simplificaron primero su arquitectura de IT ni establecieron un gobierno de datos. Más aun, los costes adicionales a menudo han amenazado el éxito financiero:

— Los costes de migración para operaciones simultáneas del centro de datos local y en la nube son el resultado de aplicaciones complejas y una falta de voluntad para migrar rápidamente.

— Pueden surgir costes ocultos cuando las plataformas, las herramientas y los servicios no han sido bien entendidos y la oferta y la demanda no se gestionan de forma efectiva.

— Los costes del integrador de sistemas pueden continuar en el tercer o cuarto año después del cambio a la nube, incentivados por un modelo de tiempo y materiales.

— Los costes de los servicios complementarios pueden ser de tres a cuatro veces más altos de lo necesario si las aplicaciones no están bien configuradas.

— Las reglas financiero-contables y un gobierno inadecuado pueden exacerbar estos costes o crear costes adicionales mediante la amortización de activos de IT no depreciados.

Sin embargo, si bien la mayoría de los costes de la nube están en IT, la mayor parte del valor se genera en el negocio (Ilustración 26). La nube proporciona acceso a las innovaciones de los proveedores de nube, tales como nuevos motores de inteligencia artificial y aprendizaje automático. En segundo lugar, la nube facilita la experimentación con nuevos productos y funciones, ya que el coste de configurar un entorno de pruebas es casi cero. También vincula el negocio con nuevos productos y servicios, como herramientas de venta, del ecosistema de socios, lo cual reduce drásticamente las barreras para una colaboración efectiva.

Las plataformas *on-premises*, e incluso las alojadas en una nube privada, no pueden acompañar la creciente complejidad y las exigencias de la manufactura moderna. Los empleados de manufactura y de la cadena de suministro, incluidos los actores externos (clientes y proveedores), necesitan acceso controlado a datos operativos y comerciales para una toma de decisiones más informada. Las plataformas IIoT en la nube les proporcionan conectividad y un acceso ubicuo.

El beneficio intrínseco de los sistemas en la nube es el funcionamiento con una única fuente de verdad, eliminando herramientas y silos de datos dispares y, en consecuencia, evitando la entrada manual o la

14 En este contexto, véase también: Joe Dertouzos, Ewan Duncan, Matthias Kässer, Satya Rao, Wolf Richter, et al., “Making the cloud pay: How industrial companies can accelerate impact from the cloud”, McKinsey & Company, octubre 1 de 2020, https://www.mckinsey.com/industries/advanced-electronics/our-insights/making-the-cloud-pay-how-industrial-companiescan-accelerate-impact-from-the-cloud.

sincronización retrasada de datos. Esto da como resultado una reducción de la cantidad de errores, cuellos de botella y tareas básicas cuando se racionalizan los procesos y flujos de trabajo.

La nube ofrece potencial para eficiencias de IT, aunque es posible que no superen el coste de la nube sola. Las eficiencias laborales se crean a medida que la instrumentación estándar de la nube aumenta la productividad del desarrollo mediante la mejora de las prácticas de ingeniería de software e impulsando la automatización en el desarrollo y mantenimiento de aplicaciones, el control de la seguridad de los desarrollos, la infraestructura, tickets y soporte. Las eficiencias no laborales surgen del menor número de centros de datos locales, el menor gasto en hardware (también debido a la estandarización) y la racionalización de nuevas aplicaciones cuando se retiran las aplicaciones *legacy*. Además, las ofertas en la nube también pueden mejorar la OT, al hacer que los datos de los dispositivos OT estén disponibles en distintas ubicaciones y accesibles para la infraestructura en la nube con amplia capacidad de cómputo para aprendizaje automático e inteligencia artificial.

La mayoría de los costes de la nube vienen de IT, pero el valor viene sobre todo del negocio

Elementos claves del caso de negocio de la nube

Costes de IT		Valor de negocio		
Grandes categorías de costes		**Casos de uso de muestra**		
Costes de ejecución	● **Costes de consumo de la nube (híbrida y multi)** (incluye "roaming de nube" – costes de sincronizar varios entornos de nube múltiple)[1] ● **Sistema heredado que siguen operando** Costes de red elevados en los modelos de nube híbrida Retener talento de la nube- pero también viejos equipos de infraestructura	**Ventas, administración y soporte**	General y administración	Análisis de fraude y deuda Analítica para la gestión de contabilidad e IT
			Marketing y ventas	Generación de lead Asignación de presupuesto de marketing
			Postventa	Servicio e intervención predictivo
Costes de migración	● **Costes de migración interna. Incluyendo consto de "doble burbuja" por la infraestructura paralela durante la migración** Costes de migración externa, por ejemplo, integrador de sistema Inversiones iniciales, únicas (por ejemplo, en construcción de capacidad por el lado del negocio, modernización de activos IT) Costes de manejo de datos	**Datos de producto**	R&D	Minería de datos de investigación y desarrollo Plataforma de gestión del portfolio de proyectos
			Nuevos servicios y modelos de negocio	Hardware como servicio Servicios on-top/ productos conectados
		OT	Manufactura	Mantenimiento predictivo Inspección visual/ control de calidad
			Gestión de la cadena de suministro	Planificación inteligente de rutas Integración vertical de la cadena de suministro virtual (just-in-time)
			Adquisición	Análisis del gasto Modelo de precio de materias primas
● Misión crítica para un caso de negocio positivo requiere gestión proactiva				
Impacto esperado en el margen EBIT[2]	**~0.2% pts**			**~9% pts**

Los programas de nube actuales se centran principalmente en la sustitución de la infraestructura IT, dejando el valor del negocio básicamente intacto

Las sustituciones de infraestructura IT a menudo no son tan efectivas como prometen- las estructuras de costes de las migraciones y operaciones en la nube a menudo llevan a casos de negocio poco atractivos si no se gestionan bien, incluso los casos de éxito sólo alcanzan el punto de equilibro en 3-4 años

1. Frecuentemente subestimadas, a veces las bases de datos pueden ser significativamente más costosa (hasta 10 veces) en la nube: las bases de datos en la nube carecen de funciones de limpieza, lo cual lleva a costes de almacenamiento más altos en comparación con las bases de datos locales
2. El potencial estimado para una empresa de automoción típica en el 2025 de la nube como facilitador para analítica avanzada, un nuevo modelo de negocio, eficiencia operativa mejorada, etc.- las inversiones no están incluidas

Fuente: McKinsey

Paso 1: Hacer que la nube dé sus frutos a corto plazo

Las empresas industriales pueden "moldear la curva" para hacer que la nube dé sus frutos a corto plazo. Esto requiere cuatro acciones (Ilustración 27):

— Ser estratégico y organizado sobre qué aplicaciones migrar a la nube pública y qué aplicaciones deben permanecer en la nube privada u *on-premises* (borde), y luego gestionar el consumo de la nube. La visión

objetivo debe determinar qué aplicaciones y datos deberían migrar y cuáles deberían permanecer. Las operaciones en la nube se pueden adoptar en múltiples entornos, no solo en la nube pública.

— Comenzar a cambiar el modelo operativo de IT y OT desde el inicio para impulsar un cambio significativo en el ritmo y la productividad, especialmente en DevSecOps y en la administración de la infraestructura. Utilizar el paradigma de ingeniería de software para mejorar la productividad del gasto en personal de IT.

— Balancear la migración de la infraestructura con un rediseño de la empresa basado en la nube, ya que este último puede empezar a autofinanciar la transformación. El rediseño puede incluir herramientas de Industria 4.0 y la integración de OT, analítica avanzada o nuevos modelos de negocio. Priorizar la mejora de procesos de negocio, a menudo habilitadas por análisis de datos, donde la inversión es menor y el impacto es más rápido.

— Aprovechar la flexibilidad de la nube para impulsar la innovación empresarial continua, caracterizada por la introducción rápida de nuevos productos, nuevas asociaciones con actores externos y nuevas tendencias en el ecosistema.

Paso 2: Gestionar y controlar estrictamente la transformación de la nube

Gestionar una transformación en la nube requiere un gobierno sólido. Entre las actividades esenciales están las siguientes:

— Cuantificar los beneficios comerciales para cada iniciativa del programa de transformación.

— Planear y ejecutar una transformación de extremo a extremo por área de negocio, en lugar de centrarse en casos de uso individuales.

— Preparar el ecosistema de aplicaciones *legacy* y de datos; esto incluye el establecimiento de un sólido gobierno de los datos.

— Integrar la racionalización y el retiro de aplicaciones en el gobierno de la transformación.

— Capacitar a toda la organización relevante por dominio de negocio.

— Establecer un modelo de gobierno consistente y sostenible entre las funciones de IT y las de negocio, incluidas las funciones centrales (corporativas) y las descentralizadas (por ejemplo, IT y OT en los centros de manufactura).

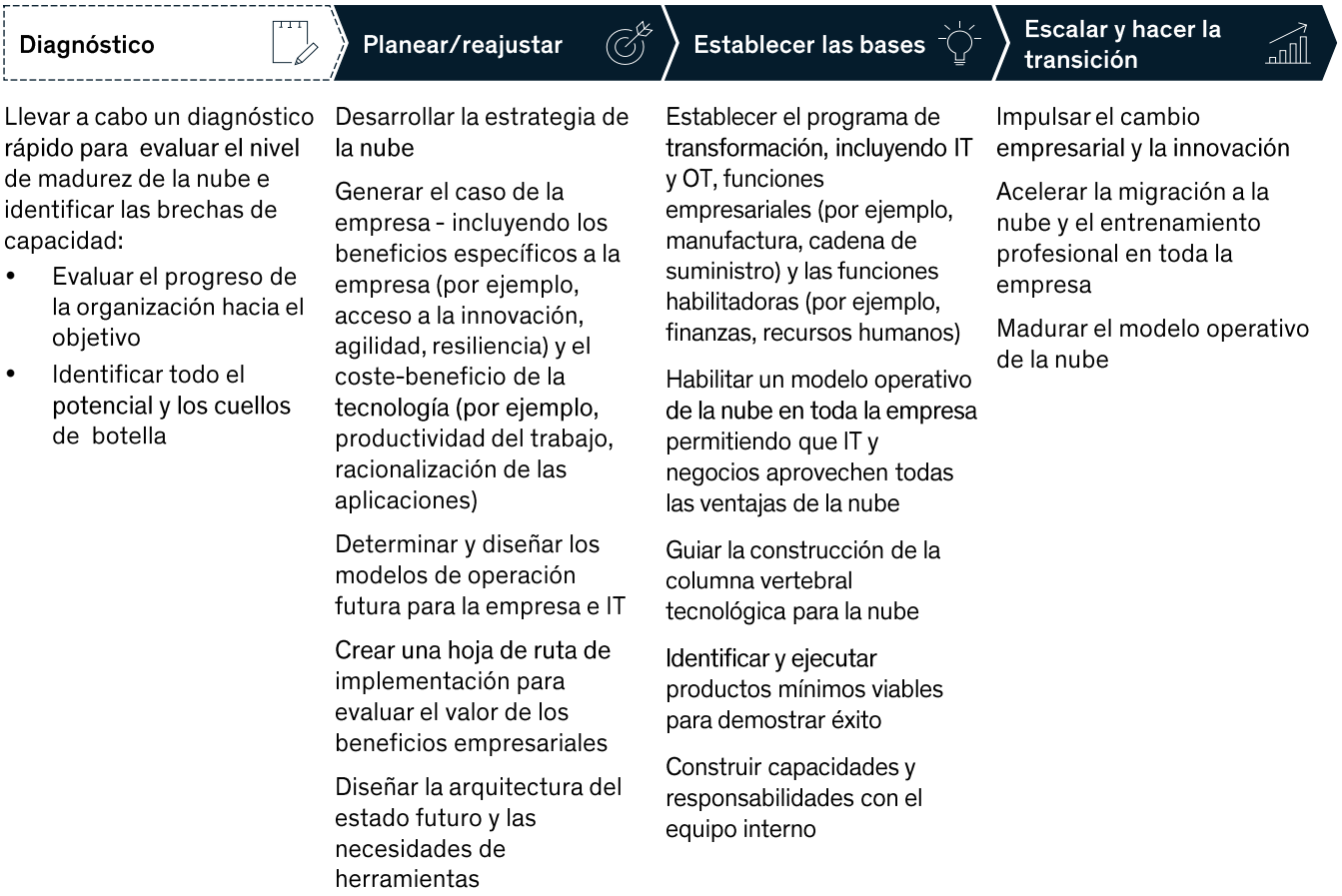
— Implementar un proceso ágil desde la gestión de la demanda hasta la entrega.

— Asegurar la adopción de mejoras operativas invirtiendo en la gestión del cambio desde el principio, obteniendo el compromiso de las áreas de negocio —por ejemplo, la cadena de suministro y manufactura— y alineando IT y OT.

Ilustración 27

Un enfoque ya comprobado para escalar las transformaciones de la nube consiste en 4 pasos

Ilustrativo



Fuente: McKinsey

La idea de la infraestructura como servicio —que un proveedor externo administre la red, el hardware y los recursos subyacentes— es una propuesta interesante para muchos líderes de empresas. Sin embargo, malinterpretan la noción de infraestructura como servicio cuando imaginan el reemplazo total de la infraestructura de su organización. Aunque la nube cambia radicalmente las actividades, el talento y el modelo operativo requeridos en un grupo de infraestructura interna no reemplaza por completo la necesidad de gestión de la infraestructura.

Las empresas deben basar la nueva colaboración entre IT y las áreas de negocio en general en un modelo operativo que refleje y respalde su creciente inversión en la nube. Aquí ayudará el hecho de pensar en un sistema integrado y no en un conjunto de tecnologías individuales. Hacer esto implica un cambio organizacional en toda IT, y también en muchas de las unidades y funciones de negocio. Este modelo operativo combina tecnologías digitales basadas en la nube y capacidades operativas ágiles en un enfoque integrado y bien secuenciado que puede acelerar rápidamente la estrategia y la transformación digital.

Paso 3: Configurar un equipo de infraestructura que pueda operar de manera muy similar a un equipo de desarrollo de aplicaciones

Cuando las empresas hacen la transición a la nube, encuentran cientos de servicios que se pueden combinar y configurar que afectan el rendimiento, la seguridad y la resiliencia, entre otros. Se necesita un equipo de infraestructura que pueda crear y administrar plantillas, arquitecturas y servicios estándar para uso de sus equipos de desarrollo. Como la infraestructura en la nube se gestiona a través de código, este equipo de infraestructura requerirá diferentes conjuntos de habilidades (por ejemplo, ejecutar código) para que puedan operar como un equipo de desarrollo de aplicaciones. Al no contar con un equipo de infraestructura que cree plataformas y servicios estandarizados, muchas empresas simplemente replicarán la fragmentación y el caos que experimentaban con sus soluciones *on-premise*.

Para adaptarse a este cambio de función, las organizaciones de infraestructura deben hacer la transición a un modelo operativo proactivo (en lugar de reactivo). En lugar de responder a las solicitudes de customización

de los equipos de desarrollo, que demoran meses y pueden volverse costosas rápidamente, los equipos de infraestructura en la nube deben considerar de manera proactiva las necesidades de la organización. Al hacerlo, la responsabilidad recae más directamente en los equipos de desarrollo mismos, que tienen más flexibilidad para configurar rápidamente los recursos que necesitan. Así, los equipos no solo ganarán más responsabilidad directa sobre los costes, sino que esta mayor flexibilidad también llevará a una mayor productividad y velocidad.

Los cambios en la infraestructura no solo son útiles para administrar la nube, sino que también son necesarios para ver la gama completa de beneficios que puede aportar. En general, poner a un equipo de infraestructura tradicional a dirigir una nube sería demasiado costoso y se perderían los beneficios de tener equipos de aplicaciones co-responsables de los costes de funcionamiento en los que incurran. Sin embargo, no tener ningún equipo de infraestructura causaría estragos en la capacidad de una organización para administrar y beneficiarse de la nube. Se requiere más bien una organización de infraestructura más ágil y especializada para lograr la gama completa de beneficios de agilidad, innovación y rendimiento que puede ofrecer la nube.

3.3 Ecosistema tecnológico

No todas las empresas tendrán éxito organizando ecosistemas tecnológicos. Para muchas, unirse a ecosistemas que ya existen será más efectivo. No obstante, cualquiera que sea el enfoque que elijan, las empresas necesitarán empezar a desarrollar nuevas capacidades: desde sistemas para el "ecosistema de IT" que vinculan a las empresas con plataformas y servicios innovadores de terceros, hasta nuevas habilidades de gestión que puedan manejar la escala y complejidad de las relaciones y asociaciones entre actores del ecosistema. Para ganar, las empresas deberán adoptar nuevas relaciones y formas de colaboración.

Las empresas siempre han forjado asociaciones y alianzas, pero debido a que los ecosistemas se encuentran en una escala tan grande, los enfoques tradicionales de gestión de relaciones no son aplicables. Las empresas exitosas están encontrando nuevas formas de elegir y gestionar socios y hacer negocios. En este contexto hay tres pasos de particular importancia[15]:

Paso 1: Comprender los elementos claves de un ecosistema sostenible

Para tener éxito, un ecosistema debe tener una propuesta de valor convincente que sea atractiva, abierta y relevante para múltiples negocios. Los ecosistemas dominantes de hoy fueron lanzados por empresas de tecnología en ascenso, que han utilizado plataformas hiperescalares para competir, desintermediar y a menudo sustituir las ofertas de los competidores tradicionales mediante el control de las interfaces con el cliente y los puntos de control.

Para obtener valor de IIoT como habilitador de un ecosistema es útil tener una plataforma en la cual crear y administrar aplicaciones, ejecutar analítica avanzada, almacenar y proteger datos. Los socios del ecosistema, las empresas y los desarrolladores tienen una asombrosa variedad de opciones de plataforma para elegir, las cuales pueden tener capacidades muy diferentes.

Las preferencias de los líderes en IIoT muestran una mayor disposición a extraer capacidades de un ecosistema de socios tecnológicos, en lugar de depender de capacidades propias. Cuando llega el momento de elegir la plataforma de IIoT que mejor se adaptará a sus necesidades, los líderes en IIoT siguen un enfoque diferente del que sigue la mayoría. Más allá del interés por entornos de desarrollo de software compatibles con plataformas de IIoT, es más probable que los líderes elijan plataformas de IIoT que atraigan y apoyen a una activa comunidad de desarrolladores externos. Tal vez, debido a que estas capacidades son tan sofisticadas, las empresas innovadoras tienen más probabilidades que la mayoría de recurrir a socios externos para sus plataformas de IIoT.

Paso 2: Elegir socios adecuados con miras a lograr una diversidad equilibrada para el ecosistema habilitado por la plataforma

Cualquier estrategia de ecosistema eficaz depende de comprender dónde está el valor. Calcular el valor de los activos, como las relaciones con los clientes, los datos propietarios y las capacidades existentes y el lugar en donde surgen las oportunidades de negocio, revela la imagen más clara de dónde reside este valor. Equipadas con esa línea de base, las organizaciones pueden evaluar las oportunidades de colaboración, prestando atención a las capacidades, los mercados y las tecnologías que complementen y apoyen sus ambiciones estratégicas.

Se debe oponer resistencia a cualquier tentación de reducir la búsqueda de oportunidades de colaboración a organizaciones dentro del mismo sector o región. Un mejor enfoque es mapear sistemáticamente a socios del ecosistema en todas las industrias y arquetipos, identificar criterios clave (como el acceso a nuevos

15 En este contexto, véase también: Jürgen Meffert y Anand Swaminathan, "Management's next frontier: Making the most of the ecosystem economy", McKinsey & Company, octubre 27 de 2017, https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/managements-next-frontier.

clientes o capacidades), y considerar posibles compensaciones (como experiencia en un dominio concreto, efectos *de lock-in* y potencial de mercado).

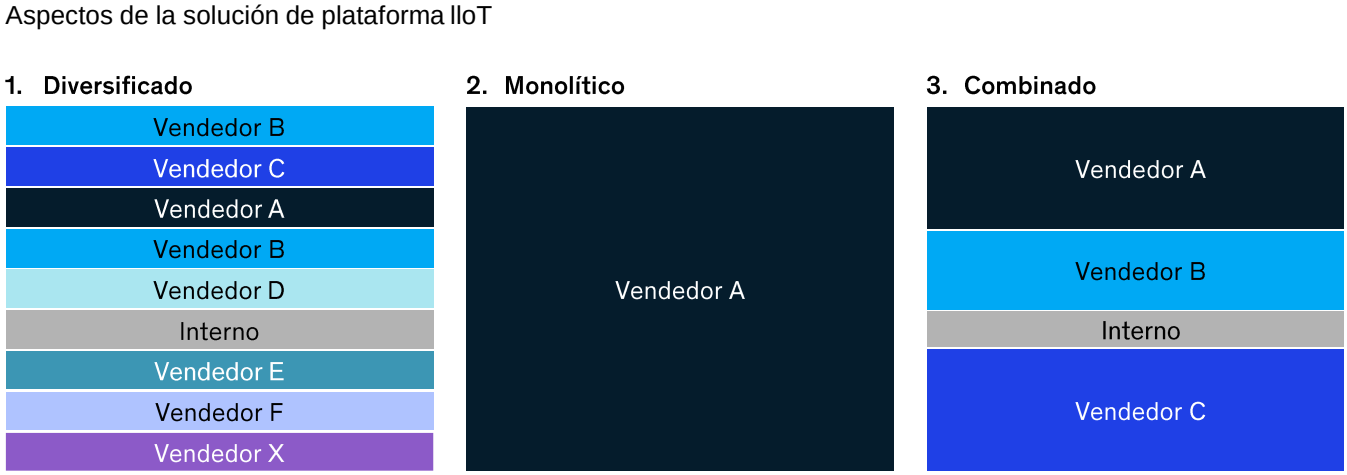
En este contexto, las empresas deben tener en cuenta cuatro consideraciones claves: ¿Añadir esta empresa ayudará a construir un ecosistema con habilidades y propuestas de valor diversas? ¿Es su modelo de negocio lo suficientemente ágil, centrado en el cliente y preparado para el futuro? ¿Su personal y su equipo de gestión son eficaces? ¿Es culturalmente compatible en cuanto a su forma de trabajar?

A medida que el mercado del ecosistema se consolida, las empresas deberían intentar encontrar un socio que sea grande y que vaya a estar en él a largo plazo, o uno que esté muy enfocado, distintivo y exitoso en la resolución de los problemas más difíciles. Las empresas deben considerar todo el entorno tecnológico, no solo las aplicaciones.

Lo que también deben tener en cuenta es que el nivel de diversidad del ecosistema objetivo puede variar: puede ser bastante monolítico, con solo un puñado de proveedores de soluciones y servicios de soporte, a estar altamente fragmentado, con cientos de proveedores de hardware, software y servicios de apoyo. En cuanto a la composición del software, hardware y los servicios requeridos para soportar aplicaciones verticales y plataformas, se pueden distinguir tres niveles de diversidad (Ilustración 28):

Ilustración 28

Visión general de los 3 arquetipos de ecosistema que difieren en su nivel de diversidad



Fuente: McKinsey

— Elegir a las mejores empresas de su segmento para cada categoría de hardware, software y soporte requerido (véase Arquetipo 1: Diversificado en la Ilustración 28) ayudará a obtener resultados óptimos dentro de la categoría respectiva; sin embargo, la carga del soporte necesario, el esfuerzo requerido para integrar las distintas categorías, y el número de puntos potenciales de fallo aumentará significativamente.- Minimizar la diversidad en el *stack* de tecnología (véase Arquetipo 2: Monolítico en la Ilustración 28) tiene el beneficio de reducir la carga del soporte, simplificar la integración entre diferentes sistemas y disminuir la cantidad de fallas potenciales. Por el contrario, adoptar un ecosistema de solución más monolítico puede conducir a un bloqueo del proveedor y una capacidad reducida para satisfacer las necesidades cambiantes de los usuarios finales y la empresa.

— Adoptar un enfoque híbrido (véase Arquetipo 3: Combinado en la Ilustración 28) equilibra las necesidades del negocio con los costes de implementación y operación, sin dejar de aprovechar las mejores soluciones tecnológicas que se puedan integrar en un ecosistema más holístico. Las necesidades del negocio y de los usuarios finales de la solución de IIoT y de su arquitectura subyacente deben ser cuidadosamente sopesadas con los objetivos a corto y largo plazo, el esfuerzo de implementación y el valor en juego.

El nivel de diversidad de los principales jugadores, por lo general se encuentra en la mitad de este espectro, con una mayor consolidación a nivel de plataforma y habilitando categorías de componentes básicos. Esto proporciona un canal unificado para el desarrollo y soporte de aplicaciones especialmente diseñadas, ya sea

para la optimización del proceso de planificación de la producción en términos de los costes de las materias primas y la programación, o para maximizar el rendimiento de las líneas de manufactura mientras se minimiza el desperdicio.

Además, las plataformas (por ejemplo, planificación empresarial, conectividad de máquinas y wearables industriales) y sus pilares habilitantes (por ejemplo, interfaces, conectividad y seguridad) a menudo se comparten en las aplicaciones verticales, mientras que las aplicaciones finales suelen ser específicas para cada caso de uso y el usuario final.

Las soluciones tácticas a menudo se inclinan hacia un ecosistema más monolítico; sin embargo, la mayoría de soluciones IIoT tienden a ser diversas por naturaleza, impulsadas principalmente por la complejidad de los sistemas de automatización y el OT que los soporta.

Paso 3: Implementar equipos de desarrollo de negocio como una estructura para gestionar el complejo ecosistema y garantizar la agilidad

Para aprovechar las contribuciones de esos operadores de plataforma y soluciones, las empresas líderes están poniendo en marcha equipos de desarrollo de negocios de ecosistemas que son similares a equipos centrales de ventas en empresas B2B, pero también incluyen ejecutivos y gerentes de desarrollo corporativo, administración, jurídico, desarrollo comercial y tecnología. Involucrar a especialistas jurídicos en los equipos de negociación es particularmente importante, dada la cantidad de preguntas que surgen al trabajar con terceros: preguntas sobre ciberseguridad, propiedad intelectual, propiedad de datos, licencias, privacidad, participación en los beneficios, responsabilidad, cumplimiento de la reglamentación y gestión de clientes.

Es probable que las empresas también necesiten personas con habilidades técnicas poco comunes, como arquitectos IT *full-stack*, que puedan integrar múltiples tecnologías en la infraestructura, las aplicaciones y los servicios. Las principales responsabilidades del equipo de desarrollo de negocios de un ecosistema son revisar empresas continuamente, comunicarse con posibles socios y seleccionar posibles candidatos para compatibilidad. El equipo debe establecer una dinámica continua para realizar un seguimiento del progreso y hacer revisiones frecuentes de hitos específicos para determinar si y cómo continuar con opciones prometedoras y cuándo abandonar los esfuerzos fallidos. El equipo también decide cómo se deben estructurar las nuevas relaciones: como empresas conjuntas, fusiones o asociaciones, dependiendo de las presiones de la competencia y las oportunidades del mercado.

La gestión de los ecosistemas requiere un equilibrio entre la estandarización (para evitar un desorden caótico) y la flexibilidad (para capturar oportunidades rápidamente). Los procesos centrales de estandarización, como la gestión de conexiones, las plantillas de negociación y las pautas de aceptación de software pueden ayudar a acelerar el desarrollo de un ecosistema exitoso. Al mismo tiempo, establecer herramientas para rastrear el desempeño en tiempo real, establecer estructuras de acuerdos flexibles e invertir en procesos ágiles puede darles a las empresas la flexibilidad que necesitan para adaptarse a las dinámicas cambiantes de los ecosistemas.

Invertir en arquitectura de IT abierta, API y microservicios será clave para desarrollar una plataforma técnica capaz de soportar el nivel de flexibilidad y agilidad necesario en los ecosistemas. Adicionalmente, los líderes de negocios deben modelar el comportamiento deseado, como tratar la gestión del ecosistema como una máxima prioridad y pasar tiempo con los socios externos.

Resumen: Cómo comenzar una transformación digital en el sector de la manufactura

El "marco de éxito" del Capítulo 2 describe el proceso habilitador de siete pasos para garantizar el éxito de una transformación sostenible. Para que las organizaciones acorten las distancias entre el lugar donde están ahora y el Paso 1 del proceso de transformación, hay que considerar ciertos elementos antes de emprender el viaje de transformación. Para esto hay siete recomendaciones pragmáticas:

1) Asegurar el apoyo del CEO para impulsar la digitalización y convertirla en un proyecto prioritario de toda la empresa.

2) Establecer desde el principio una aspiración audaz para una nueva forma de trabajar y comunicar claramente el valor que se espera obtener.

3) Identificar y demostrar rápidamente el valor de un "conjunto básico" de ocho a diez casos de uso de alto impacto.

4) Definir estratégicamente casos de uso piloto para capturar una parte significativa del valor potencial de IIoT y autofinanciar la transformación.

5) Construir una arquitectura de IT flexible y un ecosistema de proveedores de tecnología para escalar rápidamente los casos de uso.

6) Reconocer la necesidad de tener talento no tradicional y reclutar o desarrollar las capacidades en consecuencia.

7) Reconocer que menos de un tercio del éxito general se puede atribuir a la tecnología, mientras que los dos tercios restantes dependen del proceso, la organización y la capacidad de transformación.

Un enfoque holístico de la manufactura digital —uno que considere los fundamentos de la organización y el negocio tanto como los factores relacionados con la tecnología— puede ayudar al sector de manufactura a superar los obstáculos que se interponen entre el éxito del piloto y la implementación en toda la empresa. Si se aborda correctamente, una transformación digital puede crear un valor sustancial, tal y como lo han demostrado varios casos del mundo real.

Glosario

Las siguientes definiciones reflejan la forma en que se usa y se abrevia cada término en este informe.

5G. 5G es el estándar tecnológico de quinta generación para redes móviles, que comenzaron a implementar en 2019 los operadores de red. El desarrollo de un nuevo estándar coincide con la incorporación de nuevas bandas de espectro abiertas para uso móvil (es decir, ondas de radio de alta frecuencia, 28 GHz +), que el 5G pueden utilizar, además de las bandas de espectro anteriormente asignadas para uso móvil. Este espectro recién introducido ofrece una gran cantidad de ancho de banda nuevo, habilitando velocidades altas y latencias bajas que requieren los casos de uso avanzados; sin embargo, eso requiere un despliegue muy denso debido al corto alcance de la onda y la menor propagación en comparación con las bandas medias (>6 GHz). Más allá de las redes de operadores móviles, también se espera que el 5G sea implementado por redes privadas con aplicaciones en IIoT, redes empresariales y comunicaciones esenciales.

Analítica avanzada. La analítica avanzada es el examen autónomo o semiautónomo de datos o contenido utilizando técnicas y herramientas sofisticadas, que por lo general van más allá de las que utiliza la inteligencia de negocio tradicional, para descubrir observaciones más sofisticadas, hacer predicciones o generar recomendaciones. Las técnicas de analítica avanzada incluyen minería de datos y texto, aprendizaje automático, concordancia de patrones, previsión, visualización, análisis semántico, análisis de sentimientos, análisis de redes y *clusters*, estadísticas multivariadas, análisis de grafos, simulación, procesamiento de eventos complejos y redes neuronales.

Automatización avanzada. La automatización avanzada se refiere a sistemas automatizados sofisticados, idealmente con la capacidad adicional de auto-mantenimiento y reparación, los cuales requieren poca o ninguna interacción humana para operar, además de la orientación de alto nivel. Al no depender del esfuerzo humano para escalar, estos sistemas magnifican enormemente las capacidades de producción y evitan que la productividad industrial dependa del tiempo y esfuerzo humano.

Brownfield. El desarrollo de proyectos *brownfield* es un término comúnmente utilizado en el sector de IT para describir contextos de proyectos que requieren el desarrollo y el despliegue de nuevos sistemas de software en coexistencia con aplicaciones o sistemas de software existentes (*legacy*). Esto implica que cualquier nueva arquitectura de software debe tener en cuenta y coexistir con otro software vivo que ya está in situ. Lo mismo aplica para la tecnología operativa (OT), donde el término *brownfield* generalmente se refiere a una configuración de fabricación operativa y existente con OT en ejecución.

Computación de borde / computación perimetral /computación periférica (*edge computing*).
A diferencia de la computación en la nube, la computación de borde se refiere al procesamiento descentralizado de datos en el borde de una red. Es el resultado de pasar aplicaciones informáticas, datos y servicios desde los nodos centrales (centros de datos) hacia los bordes exteriores de una red. En otras palabras, el objetivo es procesar los flujos de datos lo más cerca posible de sus orígenes para garantizar así una latencia más baja de la que sería posible si los datos tuvieran que enviarse primero a un servidor en la nube.

Computación en la nube. La computación en la nube es la disponibilidad bajo demanda de los recursos del sistema informático, especialmente el almacenamiento de datos (almacenamiento en la nube) y capacidad de cómputo, sin gestión activa directa por parte del usuario. El término se usa generalmente para describir los centros de datos disponibles para muchos usuarios a través de Internet. Las nubes grandes a menudo tienen funciones distribuidas en múltiples ubicaciones de servidores centrales. Las nubes pueden estar limitadas a una sola organización (nube privada o corporativa) o estar disponible para muchas organizaciones (nube pública). La computación en la nube se basa en el intercambio de recursos para lograr coherencia y economías de escala. Los defensores de las nubes públicas y las nubes híbridas señalan que la computación en la nube les permite a las empresas evitar o minimizar de antemano los costes de la infraestructura de IT. Los defensores también afirman que la computación en la nube les permite a las empresas tener sus aplicaciones en funcionamiento más rápido, con una capacidad de gestión mejorada y menos mantenimiento, y que eso les permite a los equipos de IT ajustar los recursos más rápidamente para cumplir con la demanda fluctuante e impredecible.

Comunicaciones de plataforma abierta (OPC, por sus siglas en inglés). OPC es el estándar de interoperabilidad para el intercambio seguro y fiable de datos en el espacio de automatización industrial y otras industrias. Es independiente de la plataforma y garantiza el flujo ininterrumpido de información entre dispositivos de múltiples proveedores.

Control de supervisión y adquisición de datos. El control de supervisión y adquisición de datos es una arquitectura de sistema de control que utiliza ordenadores, comunicaciones de datos en red e interfaces gráficas de usuario para la supervisión de procesos de alto nivel y utiliza otros dispositivos periféricos, como PLC y controladores discretos proporcionales-integrales-derivados, para interactuar con la zona de procesos

o la maquinaria. El sistema informático de control de supervisión y adquisición de datos maneja interfaces de operador que permiten la monitorización y la emisión de comandos de proceso, como los cambios en el punto de ajuste del controlador. Sin embargo, la lógica de control en tiempo real o los cálculos del controlador se realizan mediante módulos en red que se conectan a los sensores y actuadores de campo.

Controlador lógico programable (PLC, por sus siglas en inglés). Un PLC es un pequeño ordenador modular de estado sólido con instrucciones customizadas para realizar una tarea en particular. Utilizados en sistemas de control industrial para una amplia variedad de industrias, los PLC han reemplazado en gran medida a los relés mecánicos, los secuenciadores de tambor y los temporizadores de levas.

Convergencia IT-OT. La convergencia IT-OT es la integración de los sistemas de IT con los sistemas de OT. Los sistemas de IT se utilizan para la computación centrada en datos; los sistemas de OT monitorizan eventos, procesos y dispositivos y hacen ajustes en las operaciones empresariales e industriales. Hay tres categorías principales de convergencia IT-OT: 1) la convergencia de procesos, que cubre la convergencia de flujos de trabajo; 2) la convergencia de software y datos, que se ocupa de poner a trabajar el software y los datos del *front-office* para abordar las necesidades de OT, y 3) la convergencia física, que incluye converger o modernizar dispositivos físicos con hardware más nuevo para adaptarse a la inclusión del IT al OT tradicional.

DevSecOps. Esto es una versión aumentada del enfoque DevOps para permitir la integración de las prácticas de seguridad. El modelo tradicional de equipo de seguridad centralizado debe adoptar un modelo federado, que permita que cada equipo de entrega tenga en cuenta los controles de seguridad correctos en sus prácticas de DevOps. El enfoque DevOps en sí es un conjunto de prácticas que combina el desarrollo de software con operaciones de IT para acortar el tiempo de comercialización, permitir la entrega continua y mejorar la calidad del software.

Gestión del ciclo de vida del producto. La gestión del ciclo de vida del producto es un sistema de software que consolida la información de producción y facilita el diseño, fabricación, servicio y disposición de los recursos involucrados en el proceso de producción.

Global Lighthouse Network. Es una investigación en curso realizada por McKinsey y el Foro Económico Mundial, cuyos últimos hallazgos muestran que las organizaciones líderes en la aplicación de tecnologías de la Industria 4.0 se benefician de su ventaja y generan aún más valor en el conjunto completo de sus empresas, no solo dentro de la fábrica. Una mirada detallada a los casos de éxito piloto revela organizaciones que están impulsando enormes mejoras en productividad, sostenibilidad, costes operativos y velocidad de comercialización.

Industria 4.0. Industria 4.0 es uno de los nombres que se le da a la tendencia actual de automatización e intercambio de datos en las tecnologías de manufactura, e incluye sistemas ciberfísicos, IoT, computación en la nube y computación cognitiva. La Industria 4.0 se conoce comúnmente como la Cuarta Revolución Industrial y fomenta las llamadas "fábricas inteligentes". Dentro de las fábricas inteligentes estructuradas de forma modular, los sistemas ciberfísicos monitorean los procesos físicos, crean una copia virtual del mundo físico y toman decisiones descentralizadas. Sobre IoT, los sistemas ciberfísicos se comunican y cooperan entre sí y con los humanos en tiempo real, tanto internamente como en todos los servicios organizacionales ofrecidos y utilizados por los participantes en la cadena de valor.

Infraestructura / plataforma / software como servicio. En la computación en la nube, se puede hacer una distinción general entre tres niveles de servicio en la nube, que se complementan entre sí: la infraestructura como servicio, la plataforma como servicio y el software como servicio. La infraestructura como servicio por lo general ofrece, entre otros, la instancia del servidor para la computación, el almacenamiento de datos y la funcionalidad de red. La plataforma como servicio agrega un entorno de desarrollo dentro de la plataforma en la nube, además de la instancia del servidor para permitir que las empresas programen aplicaciones. El software como servicio ofrece, entre otros, software fácilmente disponible que se aloja y se administra en una nube. Lo que tienen en común los tres niveles es que proporcionan infraestructuras IT abstractas o virtualizadas. Esto significa que la infraestructura, la plataforma y el software como servicios, al igual que todos los servicios de computación en la nube, se pueden adaptar dinámicamente a las necesidades de los usuarios o las empresas en cualquier momento.

Inteligencia artificial (IA). La IA es el estudio de los "agentes inteligentes": cualquier dispositivo que perciba su entorno y tome medidas que maximicen sus posibilidades de lograr con éxito sus objetivos. Alternativamente, la IA se puede caracterizar como la capacidad de un sistema para interpretar correctamente datos externos, aprender de estos datos y utilizar ese conocimiento para lograr metas y tareas específicas a través de adaptación flexible.

Internet de las cosas (IoT, por sus siglas en inglés). Se refiere a la conectividad de objetos y dispositivos físicos a internet, lo cual permite el intercambio de datos. En este informe, el IoT se refiere a aplicaciones orientadas al consumidor, en contraste con las aplicaciones industriales a las que se refiere el IIoT.

Internet industrial de las cosas (IIoT, por sus siglas en inglés). IIoT es el uso de la tecnología IoT (internet de las cosas) en un entorno industrial, generalmente en un entorno de negocio a negocio y, a menudo, centrado en áreas de operaciones tales como la manufactura, las cadenas de suministro y la logística.

IO-Link. IO-Link es un estándar de redes de comunicaciones industriales de corta distancia, bidireccional, digital, punto a punto, cableado (o inalámbrico), utilizado para conectar sensores digitales y actuadores a un tipo de bus de campo (*fieldbus*) industrial o un tipo de Ethernet industrial. Su objetivo es proporcionar una plataforma tecnológica que permita el desarrollo y el uso de sensores y actuadores que pueden producir y consumir conjuntos de datos enriquecidos, los que a su vez se pueden utilizar para optimizar económicamente procesos y operaciones industriales automatizados.

Modo de circuito cerrado (control). Básicamente, existen dos tipos de bucles de control: el control de bucle abierto y el control de bucle cerrado. En contraste con el control de bucle abierto, donde la acción del controlador es independiente del resultado del proceso (o variable de proceso controlada), la acción del controlador en el control de bucle cerrado depende del resultado del proceso. Un controlador de circuito cerrado tiene, por lo tanto, un circuito de retroalimentación que garantiza que el controlador ejerza una acción de control basada en los parámetros medidos del resultado del proceso.

MQTT. Es un protocolo de comunicación moderno y ligero que permite la conexión de dispositivos remotos con una huella de código pequeña en anchos de banda de red muy bajos.

Planificación de recursos empresariales (ERP, por sus siglas en inglés). La planificación de recursos empresariales es un sistema de software que integra información de toda una organización, incorporando datos de la cadena de suministro, el inventario, las órdenes de venta y de servicio, e información del cliente. Este sistema facilita el flujo de información entre todas las funciones comerciales y gestiona las conexiones con clientes externos.

Plataforma. Una plataforma es software y hardware que puede incluir un entorno operativo, almacenamiento, potencia informática, seguridad, herramientas de desarrollo y muchas otras funciones comunes. Las plataformas están diseñadas para admitir múltiples aplicaciones de soluciones empresariales más pequeñas.

Plataforma IIoT. En IIoT, las plataformas están diseñadas para implementar aplicaciones que monitorizan, administran y controlan los dispositivos conectados. Las plataformas IIoT manejan problemas como conectar y extraer datos de una gran cantidad y variedad de puntos finales, que a veces se encuentran en ubicaciones inoportunas, con conectividad irregular.

Plataformas *low-code/no-code*. Una plataforma de desarrollo *low-code* es un software que proporciona un entorno de desarrollo utilizado para crear software de aplicación a través de interfaces gráficas de usuario y configuración, en lugar de la programación informática tradicional codificada a mano. Un modelo de código bajo permite que los desarrolladores de diversos niveles de experiencia creen aplicaciones utilizando una interfaz visual de usuario en combinación con la lógica basada en modelos. Una plataforma de desarrollo sin código permite que los programadores y no programadores creen software de aplicación a través de interfaces gráficas de usuario y configuración en lugar de la programación informática tradicional. Las plataformas de desarrollo sin código están estrechamente relacionadas con las plataformas de desarrollo de código bajo, en la medida en que ambas están diseñadas para acelerar el proceso de desarrollo de aplicaciones.

Red troncal habilitada por IIoT. En el corazón del IIoT se encuentran las redes de conectividad y comunicaciones fiables y de alto rendimiento. Se necesitan redes de comunicación robustas y flexibles para realizar la visión de máquinas que se comunican entre sí, recopilan datos y analizan e informan sobre esos datos. En las operaciones industriales, los activos físicos que recopilan y permiten la transmisión de datos —cables, conectores, cables de conexión, sensores, interruptores, etc.— deben poder soportar las duras condiciones y expectativas de alto rendimiento en estos entornos. Este es el Ethernet industrial, que se puede comparar con una red troncal que conecta todas las partes de una empresa de manufactura: desde la oficina corporativa y la planta de producción hasta ubicaciones remotas. Estas plataformas proporcionan conectividad empresarial y de internet.

Sistema de control distribuido. Los sistemas industriales automatizados complejos utilizados en la manufactura discreta y los procesos de producción requieren un sistema de control distribuido para poder funcionar. Organizado como una jerarquía, un sistema de control distribuido comienza vinculando los distintos componentes —actuadores, contactores, motores, sensores, interruptores y válvulas— que hacen el trabajo al nivel de la práctica (por ejemplo, el taller o la planta de producción) a los PLC. A su vez, los PLC están conectados a una interfaz hombre-máquina, normalmente una pantalla de algún tipo que permite a los operadores humanos monitorizar el desempeño general del sistema y el comportamiento de los componentes y, si es necesario, ajustar los parámetros en consecuencia.

Sistema de ejecución de fabricación (MES, por sus siglas en inglés). Un sistema de ejecución de fabricación gestiona operaciones de manufactura dentro de una fábrica. Recibe definiciones de producto, instrucciones electrónicas de trabajo y configuraciones de equipo del sistema de gestión del ciclo de vida del producto, y requisitos de orden del sistema de planificación de recursos empresariales. Luego informa de los resultados del rendimiento de la producción y los materiales consumidos al sistema de planificación de recursos empresariales.

Sistema de gestión de operaciones de fabricación (*Manufacturing Operation Management* o MOM, por sus siglas en inglés). MOM es una metodología para ver un proceso de manufactura de principio a fin con el objetivo de optimizar la eficiencia. Los múltiples tipos de sistemas MOM incluyen software para la gestión de

la producción, análisis del rendimiento, calidad y cumplimiento, e interfaces hombre-máquina. El software de gestión de la producción proporciona información en tiempo real sobre trabajos y pedidos, mano de obra y materiales, estado de las máquinas y envíos de productos. El software de análisis de rendimiento muestra métricas a nivel de la máquina, la línea, la planta y la empresa para análisis históricos o de situación. El software de calidad y cumplimiento se utiliza para promover el cumplimiento de estándares y especificaciones para procesos y procedimientos operativos. El software de interfaz hombre-máquina es una forma de software MOM que permite a los operadores gestionar maquinaria industrial y de control de procesos utilizando una interfaz basada en ordenadores.

Software de gestión de la cadena de suministro. La gestión de la cadena de suministro requiere herramientas de software o módulos para ejecutar transacciones de la cadena de suministro, gestionar las relaciones con los proveedores y controlar procesos comerciales asociados. Si bien la funcionalidad en tales sistemas a menudo puede ser amplia, comúnmente incluyen procesamiento de requisitos del cliente, procesamiento de órdenes de compra, ventas y distribución, manejo de inventario, gestión de la entrada de mercancías y el almacén, y gestión/abastecimiento de los proveedores.

***Stack* de software industrial**. El *stack* de software industrial es el conjunto completo de productos y herramientas de software que se necesitan para recopilar datos de un punto final industrial (una máquina), extraer información útil de esos datos e informar o iniciar una decisión sobre cómo operar la máquina de manera diferente, o respaldar otras decisiones sobre cómo operar el negocio subyacente de manera más efectiva.

Tecnología de la Información (IT, por sus siglas en inglés). Incluye cualquier uso de equipos informáticos, almacenamiento, redes u otros dispositivos físicos, infraestructura y procesos para crear, procesar, almacenar, proteger e intercambiar todas las formas de datos electrónicos.

Tecnología de las operaciones (OT, por sus siglas en inglés). Tradicionalmente asociada con la manufactura y los entornos industriales, la OT incluye sistemas de control industrial como el control de supervisión y adquisición de datos. Si bien la IT cubre inherentemente las comunicaciones como parte de su rango de información, la OT no ha sido tradicionalmente un tipo de tecnología en red, es decir, que no está conectada a una red más grande a través de internet. Muchos dispositivos de seguimiento o ajuste no estaban computarizados en el pasado, y aquellos con recursos informáticos generalmente usaban protocolos y PLC cerrados y patentados, en lugar de tecnologías que permitieran un control informático total.

Unidad de procesamiento gráfico (GPU, por sus siglas en inglés). Una unidad de procesamiento de gráfico es un circuito electrónico especializado, diseñado para manipular y alterar rápidamente la memoria con el fin de acelerar la creación de imágenes en un búfer de cuadro destinado a la salida a un dispositivo de visualización. Las unidades de procesamiento de gráficos se utilizan en sistemas integrados, teléfonos móviles, computadoras personales, estaciones de trabajo y consolas de juegos. Su estructura altamente paralela las hace más eficientes que las unidades centrales de procesamiento de propósito general para algoritmos, que procesan grandes bloques de datos en paralelo, lo cual las convierte en candidatos ideales para tareas de aprendizaje automático.

Autores

Andreas Behrendt
Socio, oficina de Colonia

Enno de Boer
Socio, oficina de Nueva Jersey

Tarek Kasah
Socio asociado, oficina de Düsseldorf

Bodo Koerber
Socio, oficina de Düsseldorf

Niko Mohr
Socio, oficina de Düsseldorf

Gérard Richter
Socio sénior, oficina de Fráncfort

Coautores

Isabel Blum
Socia asociada, oficina de Colonia

Alexander Busse
Director de Engagement, oficina de Fráncfort

Alexander Knaak
Experto (Digital Labs), oficina de Munich

Florian Surek
Director del centro IIoT, oficina de Taipéi office

Colaboradores

Zach Warren, Bill Corrigan, Leonides de Ocampo, Joris van Niel, Adrian Widmer, Dennis Küsters, Robert Feldmann, Prashanth Parthasarathy, Tyler Smith, Beltir Caglar-Dayanik, Zina Kolesova , Hayden Zheng, Jörg Hanebrink

Contactos

Puntos de contacto relativos a este informe en Estados Unidos, Europa y la región Asia-Pacífico.

Estados Unidos

Venkat Atluri es socio sénior en la oficina de McKinsey en Chicago
Venkat_Atluri@mckinsey.com

Aamer Baig es socio sénior en la oficina de McKinsey en Chicago
Aamer_Baig@mckinsey.com

Gianluca Camplone es socio sénior en la oficina de McKinsey en Chicago
Gianluca_Camplone@mckinsey.com

Michael Chui es socio en la oficina de McKinsey en San Francisco
Michael_Chui@mckinsey.com

Mike Coxon es socio en la oficina de McKinsey en Cleveland
Mike_Coxon@mckinsey.com

Enno de Boer es socio en la oficina de McKinsey en Nueva Jersey
Enno_de_Boer@mckinsey.com

Ewan Duncan es socio sénior en la oficina de McKinsey en Seattle
Ewan_Duncan@mckinsey.com

Katy George es socio sénior en la oficina de McKinsey en Nueva Jersey
Katy_George@mckinsey.com

Richard Kelly es socio en la oficina de McKinsey en Stamford
Richard_Kelly@mckinsey.com

Eric Lamarre es socio sénior en la oficina de McKinsey en Boston
Eric_Lamarre@mckinsey.com

Asutosh Padhi es socio sénior en la oficina de McKinsey en Chicago
Asutosh_Padhi@mckinsey.com

Mark Patel es socio sénior en la oficina de McKinsey en San Francisco
Mark_Patel@mckinsey.com

Daniel Swan es socio sénior en la oficina de McKinsey en Stamford
Daniel_Swan@mckinsey.com

Steve Van Kuiken es socio sénior en la oficina de McKinsey en Nueva Jersey
Steve_Van_Kuiken@mckinsey.com

Rutger Vrijen es socio en la oficina de McKinsey en Silicon Valley
Rutger_Vrijen@mckinsey.com

Rodney Zemmel es socio sénior en la oficina de McKinsey en Nueva York
Rodney_Zemmel@mckinsey.com

Europa

Lisa Åberg es socio sénior en la oficina de McKinsey en Estocolmo
Lisa_Aberg@mckinsey.com

Harald Bauer es socio sénior en la oficina de McKinsey en Fráncfort
Harald_H_Bauer@mckinsey.com

Thomas Baumgartner es socio sénior en la oficina de McKinsey en Viena
Thomas_Baumgartner@mckinsey.com

Andreas Behrendt es socio en la oficina de McKinsey en Colonia
Andreas_Behrendt@mckinsey.com

Nico Berhausen es socio en la oficina de McKinsey en Estocolmo
Nico_Berhausen@mckinsey.com

Sven Blumberg es socio sénior en la oficina de McKinsey en Düsseldorf
Sven_Blumberg@mckinsey.com

Dirk Breitschwerdt es socio sénior en la oficina de McKinsey en Munich
Dirk_Breitschwerdt@mckinsey.com

Ondrej Burkacky es socio en la oficina de McKinsey en Munich
Ondrej_Burkacky@mckinsey.com

Raffaele Carpi es socio en la oficina de McKinsey en Lisboa
Raffaele_Carpi@mckinsey.com

Andreas Cornet es socio sénior en la oficina de McKinsey en Munich
Andreas_Cornet@mckinsey.com

Marc de Jong es socio en la oficina de McKinsey en Ámsterdam
Marc_de_Jong@mckinsey.com

Hugo del Campo es socio sénior en la oficina de McKinsey en Madrid
Hugo_del_Campo@mckinsey.com

Andrea del Miglio es socio sénior en la oficina de McKinsey en Milán
Andrea_del_Miglio@mckinsey.com

Valerio Dilda es socio en la oficina de McKinsey en París
Valerio_Dilda@mckinsey.com

Ferry Grijpink es socio sénior en la oficina de McKinsey en Ámsterdam
Ferry_Grijpink@mckinsey.com

Mikael Hanicke es socio en la oficina de McKinsey en Gotemburgo
Mikael_Hanicke@mckinsey.com

Holger Harreis es socio sénior en la oficina de McKinsey en Düsseldorf
Holger_Harreis@mckinsey.com

Bernd Heid es socio sénior en la oficina de McKinsey en Colonia
Bernd_Heid@mckinsey.com

Nicolaus Henke es socio sénior en la oficina de McKinsey en Londres
Nicolaus_Henke@mckinsey.com

Dorothee Herring es socia en la oficina de McKinsey en Düsseldorf
Dorothee_Herring@mckinsey.com

Ruth Heuss es socia sénior en la oficina de McKinsey en Berlín
Ruth_Heuss@mckinsey.com

Anne Hidma es socia sénior en la oficina de McKinsey en Ámsterdam
Anne_Hidma@mckinsey.com

Klemens Hjartar es socio sénior en la oficina de McKinsey en Copenhague
Klemens_Hjartar@mckinsey.com

Daniele Iacovelli es socio en la oficina de McKinsey en Hamburgo
Daniele_Iacovelli@mckinsey.com

Christian Jansen es socio en la oficina de McKinsey en Hamburgo

Christian_Jansen@mckinsey.com

Paul Jenkins es socio sénior en la oficina de McKinsey en Oslo
Paul_Jenkins@mckinsey.com

Andras Kadocsa es socio en la oficina de McKinsey en Budapest
Andras_Kadocsa@mckinsey.com

Axel Karlsson es socio sénior en la oficina de McKinsey en Estocolmo
Axel_Karlsson@mckinsey.com

Tarek Kasah es socio asociado en la oficina de McKinsey en Düsseldorf
Tarek_Kasah@mckinsey.com

Matthias Kässer es socio en la oficina de McKinsey en Munich
Matthias_Kaesser@mckinsey.com

Bodo Koerber es socio en la oficina de McKinsey en Düsseldorf
Bodo_Koerber@mckinsey.com

Martin Linder es socio sénior en la oficina de McKinsey en Munich
Martin_Linder@mckinsey.com

Martin L.sch es socio sénior en la oficina de McKinsey en Stuttgart
Martin_Loesch@mckinsey.com

Jürgen Meffert es socio sénior en la oficina de McKinsey en Düsseldorf
Juergen_Meffert@mckinsey.com

Lukas Michor es socio en la oficina de McKinsey en Viena
Lukas_Michor@mckinsey.com

Roberto Migliorini es socio en la oficina de McKinsey en Londres
Roberto_Migliorini@mckinsey.com

Niko Mohr es socio en la oficina de McKinsey en Düsseldorf
Niko_Mohr@mckinsey.com

Nicolai Müller es socio sénior en la oficina de McKinsey en Colonia
Nicolai_Mueller@mckinsey.com

Olivier Noterdaeme es socio en la oficina de McKinsey en Bruselas
Olivier_Noterdaeme@mckinsey.com

Anders Rasmussen es socio sénior en la oficina de McKinsey en Londres
Anders_Rasmussen@mckinsey.com

Gérard Richter es socio sénior en la oficina de McKinsey en Fráncfort
Gerard_Richter@mckinsey.com

Wolf Richter es socio en la oficina de McKinsey en Berlín
Wolf_Richter@mckinsey.com

Mikael Robertson es socio sénior en la oficina de McKinsey en Estocolmo
Mikael_Robertson@mckinsey.com

Matthias Roggendorf es socio en la oficina de McKinsey en Berlín
Matthias_Roggendorf@mckinsey.com

Tamim Saleh es socio sénior en la oficina de McKinsey en Londres
Tamim_Saleh@mckinsey.com

Christoph Schmitz es socio sénior en la oficina de McKinsey en Fráncfort
Christoph_Schmitz@mckinsey.com

Ulf Schrader es socio sénior en la oficina de McKinsey en Hamburgo
Ulf_Schrader@mckinsey.com

Markus Simon es socio en la oficina de McKinsey en Colonia
Markus_Simon@mckinsey.com

Kate Smaje es socio sénior en la oficina de McKinsey en Londres
Kate_Smaje@mckinsey.com

Naomi Smit es socio en la oficina de McKinsey en Ámsterdam
Naomi_Smit@mckinsey.com

Francois Soubien es socio en la oficina de McKinsey en París
Francois_Soubien@mckinsey.com

Jacob Staun es socio en la oficina de McKinsey en Copenhague
Jacob_Staun@mckinsey.com

Gernot Strube es socio sénior en la oficina de McKinsey en Munich
Gernot_Strube@mckinsey.com

Rupert Stuetzle es socio en la oficina de McKinsey en Berlín
Rupert_Stuetzle@mckinsey.com

Yoshi Takanuki es socio sénior en la oficina de McKinsey en Londres
Yoshi_Takanuki@mckinsey.com

Andreas Tschiesner es socio sénior en la oficina de McKinsey en Munich
Andreas_Tschiesner@mckinsey.com

Joris van Niel es socio en la oficina de McKinsey en Ámsterdam
Joris_Van_Niel@mckinsey.com

Martin Wrulich es socio en la oficina de McKinsey en Viena
Martin_Wrulich@mckinsey.com

Jan Wüllenweber es socio sénior en la oficina de McKinsey en Colonia
Jan_Wüllenweber@mckinsey.com

Asia-Pacífico

Albert Chang es socio en la oficina de McKinsey en Taipéi
Albert_Chang@mckinsey.com

Karel Eloot es socio sénior en la oficina de McKinsey en Shanghái
Karel_Eloot@mckinsey.com

Jean-Frederic Kuentz es socio sénior en la oficina de McKinsey en Taipéi
Jean-Frederic_Kuentz@mckinsey.com

Martin Lehnich es socio en la oficina de McKinsey en Shenzhen
Martin_Lehnich@mckinsey.com

Abhyuadaya Shrivastava es socio en la oficina de McKinsey en Singapur
Abhyuadaya_Shrivastava@mckinsey.com

Anil Sikka es socio en la oficina de McKinsey en Taipéi
Anil_Sikka@mckinsey.com

Las últimas perspectivas de McKinsey sobre IIoT, fabricación digital y operaciones conectadas

Leveraging industrial software *stack* advancement for digital transformation

The 5G era: New horizons for advanced electronics and industrial companies

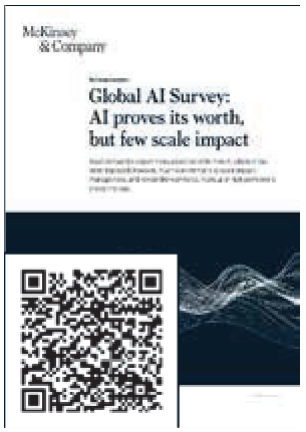
Industry 4.0: Capturing value at scale in discrete manufacturing

Customer centricity as key for the digital breakthrough

Global Lighthouse Network: Insights from the Forefront of the Fourth Industrial Revolution

"Lighthouse" manufacturers lead the way – can the rest of the world keep up?

Connected world: An evolution in connectivity beyond the 5G revolution



Global AI Survey: AI proves its worth, but few scale impact

Digital machinery: How companies can win the changing manufacturing game

Industry's fast-mover advantage: Enterprise value from digital factories

Growing opportunities in the Internet of Things

What separates leaders from laggards in the Internet of Things

January 2021
Copyright © McKinsey & Company
Designed by Visual Media Europe

www.mckinsey.com

@McKinsey
@McKinsey