

Hacia el desarrollo de infraestructuras eficientes y sostenibles en América Latina

Anexo 3
Guía práctica para incorporar
la digitalización en los proyectos
del sector de la logística

Hacia el desarrollo de infraestructuras eficientes y sostenibles en América Latina

Anexo 3
**Guía práctica para incorporar
la digitalización en los proyectos
del sector de la logística**

Título:

Hacia el desarrollo de infraestructuras eficientes y sostenibles en América Latina.

Anexo 3. Guía práctica para incorporar la digitalización en los proyectos del sector de la logística

Editor: CAF

Antonio Silveira, Gerente de Infraestructura Física y Transformación Digital

Sandra Conde, Directora de Energía y Transporte

Claudia Flores, Directora (e) de Transformación Digital

Coordinación del estudio:

Mauricio Agudelo, Coordinador de la Agenda Digital y del Observatorio CAF para el Ecosistema Digital (director del estudio)

Eduardo Chomali (director del estudio), Jesús Suniaga, (coordinación editorial y revisión del estudio),

Alejandro Forero, Emily Carrera y Mary Simoes

Revisión sectorial:

Rafael Farromeque, Carolina Rueda, Mercedes Pedreira y Rodrigo Alarcón

Autores:

Julián Gómez Pineda (Tachyon Consultores)

Oswaldo Bejarano (Tachyon Consultores)

Pablo Roda (Económica Consultores)

Francisco Perdomo (Económica Consultores)

Revisión y edición de contenidos: Ana Gerez

Diseño gráfico: Estudio Bilder / Buenos Aires

Las ideas y planteamientos contenidos en la presente edición son de exclusiva responsabilidad de sus autores y no comprometen la posición oficial de CAF.

La versión digital de este libro se encuentra en: scioteca.caf.com

Copyright © 2022 Corporación Andina de Fomento. Esta obra está licenciada bajo la Licencia Creative Commons Atribución-No-Comercial-SinDerivar 4.0 Internacional.

Para ver una copia de esta licencia, visita <http://creativecommons.org/by-nc-nd/4.0/>.



8

Introducción

9

Importancia de incorporar la digitalización de infraestructuras en la estructuración y ejecución de un proyecto del sector logístico

29

Formulación y evaluación técnico-económica de proyectos de digitalización del sector logístico paso a paso

60

Incentivos y barreras de la digitalización

Cuadros

- 13 Cuadro A.3 1 — Tecnología, nuevos negocios y servicios que promoverán la digitalización en el sector logístico
- 23 Cuadro A.3 2 — Resumen de los principales hallazgos de las experiencias internacionales analizadas
- 37 Cuadro A.3 3 — Equipos o aplicaciones requeridas para la implementación de componentes de digitalización en los proyectos de infraestructura del sector logístico
- 39 Cuadro A.3 4 — Funcionalidades de los equipos o aplicaciones requeridas para la implementación de componentes de digitalización en los proyectos de infraestructura del sector logístico
- 42 Cuadro A.3 5 — Determinantes de los costos (CAPEX y OPEX) para la digitalización de los proyectos de infraestructura del sector logístico
- 51 Cuadro A.3 6 — Estructura conceptual del flujo financiero del proyecto de digitalización en el sector logístico
- 55 Cuadro A.3 7 — Estructura conceptual del flujo del proyecto de digitalización en el sector logístico para la evaluación beneficio-costo
- 60 Cuadro A.3 8 — Aspectos regulatorios asociados a la digitalización del sector logístico

Figuras

- 10 **Figura A.3 1 —Flujos de material e información en la cadena del sector logístico**
- 11 **Figura A.3 2 — Optimización de la planeación y gestión de los sistemas logísticos mediante la digitalización de infraestructuras**
- 15 **Figura A.3 3 — Componentes de la digitalización del sector logístico**
- 19 **Figura A.3 4 — Diagrama conceptual del sistema UNI-PASS**
- 29 **Figura A.3 5 — Estructura de la guía para formular y evaluar proyectos de digitalización en el sector logístico paso a paso**
- 35 **Figura A.3 6 — Esquemas y tecnologías digitales aplicados a infraestructuras y activos del sector logístico**
- 36 **Figura A.3 7 — Metodología propuesta para la incorporación de componentes de digitalización en los proyectos de infraestructura del sector logístico**
- 41 **Figura A.3 8 — Estimación de los costos incrementales asociados con la incorporación de componentes de digitalización en las infraestructuras del sector logístico**
- 45 **Figura A.3 9 — Metodología propuesta para el cálculo de los beneficios económicos por ahorros en costos de transporte**
- 46 **Figura A.3 10 — Metodología propuesta para el cálculo de los beneficios económicos por ahorros en costos de almacenamiento**
- 47 **Figura A.3 11 — Metodología propuesta para el cálculo de los beneficios económicos por menor incertidumbre en tiempos de entrega**
- 48 **Figura A.3 12 — Metodología propuesta para el cálculo de los beneficios económicos por menor deterioro de las mercancías**
- 49 **Figura A.3 13 — Metodología propuesta para el cálculo de los beneficios económicos por acceso a mercados globales mediante el uso de las plataformas digitales (empresas pequeñas)**
- 53 **Figura A.3 14 — Paso de precios de mercado a precios de eficiencia**
- 57 **Figura A.3 15 — Análisis de priorización de componentes**

Introducción

Esta guía metodológica forma parte de un conjunto de documentos que explican la importancia de incorporar la digitalización en las infraestructuras de los sectores de la energía eléctrica, la movilidad y la logística. En ellos, se presentan los resultados de un estudio en profundidad sobre este tema y los activos físicos en los tres sectores mencionados. El conjunto, formado por un documento principal y tres complementarios, presentados como anexos (uno por cada sector), describe cómo formular y evaluar proyectos de digitalización.

La presente guía está focalizada en el sector de la logística y puede ser consultada de manera autónoma o en combinación con los documentos que la acompañan¹. Su propósito es explicar la importancia de incorporar la digitalización de infraestructuras en el sector logístico, identificar las oportunidades que ofrece la transformación digital en este sector y establecer sus costos y beneficios. Como se verá más adelante, la transformación digital del sector logístico está impulsada por tecnologías tradicionales, como la identificación por radiofrecuencia (RFID, por sus siglas en inglés), y nuevas tecnologías, como el internet de las cosas (IdC), la red de 5G, el *big data*, la analítica de datos, la inteligencia artificial (IA) y la cadena de bloques (*blockchain*).

El documento está estructurado en dos secciones, además de esta introducción. La primera sección explica las razones subyacentes de incorporar la digitalización de infraestructuras a la articulación y ejecución de proyectos del sector de la logística. Además, describe las tendencias en materia de digitalización y casos típicos abordados en esta guía: la digitalización de corredores logísticos; la digitalización de aduanas; las plataformas digitales para la compartición de recursos, el control y la trazabilidad de la carga y las mercancías; las plataformas para el comercio y las transacciones digitales, y la optimización de la entrega de mercancías. En cada uno de estos tipos de proyectos pueden o no incluirse aplicaciones avanzadas de tecnologías de la llamada Cuarta Revolución Industrial. Luego presenta, a título de ejemplo, cinco casos internacionales, que abarcan diversos tipos de aplicaciones, desde la digitalización de puertos, aduanas y corredores logísticos, hasta la implementación de tecnologías del IdC, *big data* y analítica de datos para la entrega de mercancías a los clientes finales.

Finalmente, analiza distintos beneficios incrementales que puede traer consigo la digitalización del sector de la logística.

La segunda sección presenta una guía práctica, paso a paso, sobre cómo utilizar esta guía metodológica para la formulación y evaluación tecnoeconómica de proyectos de digitalización del sector logístico. La guía ayuda a resolver en forma práctica la formulación de los objetivos del proyecto y la descripción del promotor y su entorno, así como del propio proyecto (demanda, alternativas, diseño técnico, costos, cronograma, componentes de digitalización). Además, presenta los insumos para la cuantificación de los beneficios y costos, que lleva a la construcción del flujo financiero, el cálculo de indicadores y los análisis de sensibilidad.

Para concluir, se identifican brevemente los incentivos de los proyectos de digitalización del sector logístico y las posibles barreras para su desarrollo, considerando las diferencias institucionales entre los países de la región y la diversidad de estructuras de mercado. Esto permite anticipar riesgos y orientar la exploración de oportunidades.

¹ Las abreviaciones y referencias bibliográficas de este anexo pueden consultarse en el documento principal, titulado "Hacia el desarrollo de infraestructuras eficientes y sostenibles en América Latina: oportunidades y beneficios de la digitalización para los sectores de la energía eléctrica, la movilidad y la logística", disponible en la Scioteca de CAF.

Importancia de incorporar la digitalización de infraestructuras en la estructuración y ejecución de un proyecto del sector logístico

La importancia de la digitalización en el sector logístico

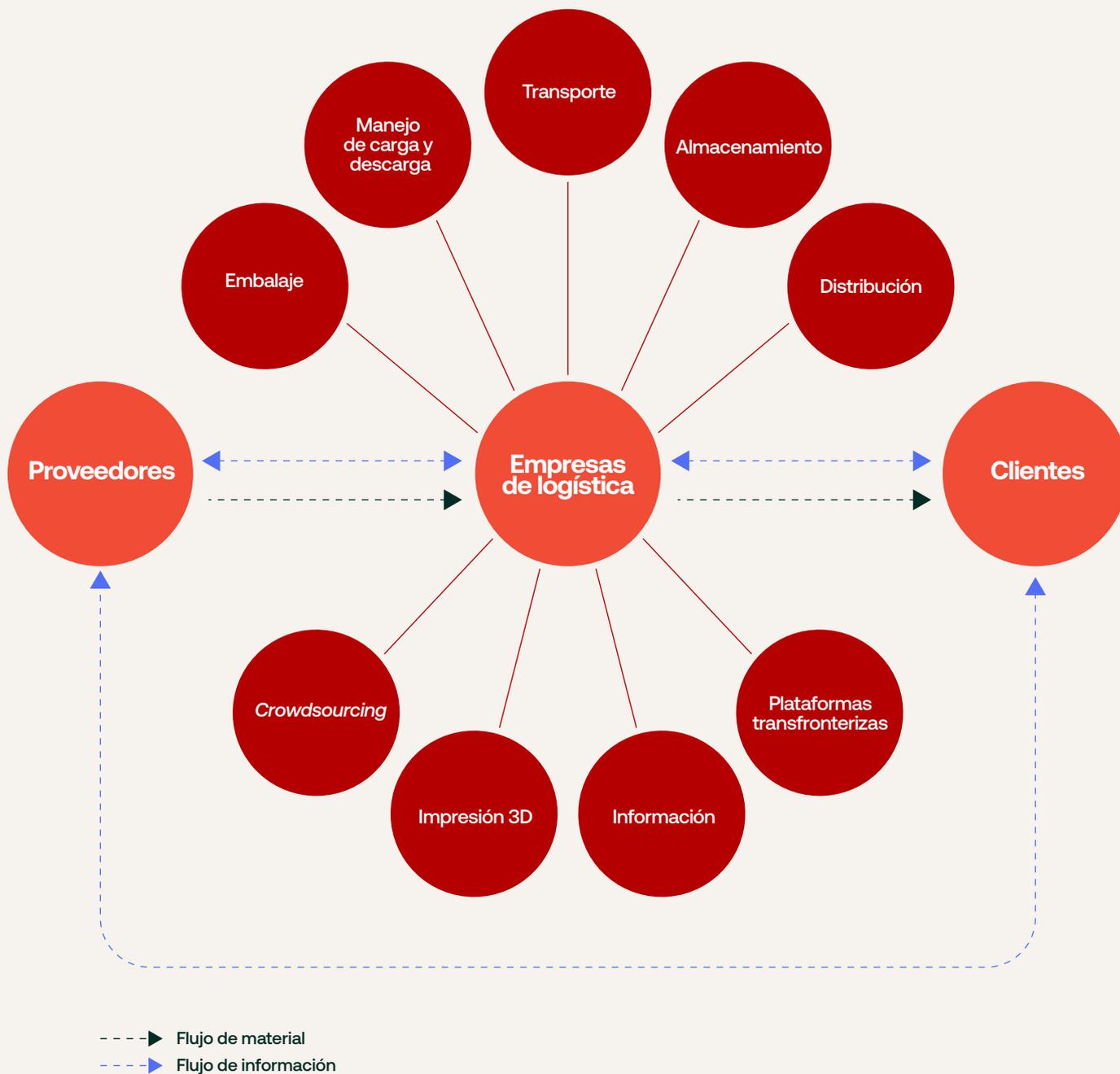
En la cadena de valor del sector logístico, las empresas realizan nueve tipos de procesos que se pueden destacar actualmente: embalaje, manejo de carga y descarga, transporte, almacenamiento, distribución, colaboración masiva (*crowdsourcing*), impresión tridimensional (3D), plataformas transfronterizas y gestión de la información, como se muestra en la Figura A.3 1. Todos estos elementos de la cadena están experimentando transformaciones debido al cambio tecnológico, lo que ha implicado el surgimiento de la “logística 4.0”. Con este término se hace referencia a la combinación del uso de la logística con las innovaciones y aplicaciones agregadas por sistemas ciberfísicos². La logística 4.0 está relacionada con productos y servicios inteligentes que pueden realizar tareas que normalmente hacían personas. Además, posibilitan la delegación de actividades para que los trabajadores puedan concentrarse en aquellas que necesitan más inteligencia que la disponible en procesos automáticos o la que puede brindar un simple producto o servicio inteligente (Barreto et al., 2017).

Esa transformación digital en el sector conlleva múltiples beneficios, incluyendo ahorros en costos de transporte y almacenamiento, reducciones en la pérdida de productos por deterioro y agilización en el manejo interno de los productos, el suministro y las entregas de mercancías. Los efectos llegan a todas las fases y actores de la cadena, dando lugar a nuevos servicios a partir de los datos generados por la digitalización.

Para establecer el uso de las tecnologías digitales en el diseño y gestión de la infraestructura del sector logístico se parte de una conceptualización del flujo de valor en la cadena del sector, representado en la Figura A.3 1. Esta figura muestra también los flujos de materiales entre proveedores y clientes, así como los flujos de información entre las diferentes partes.

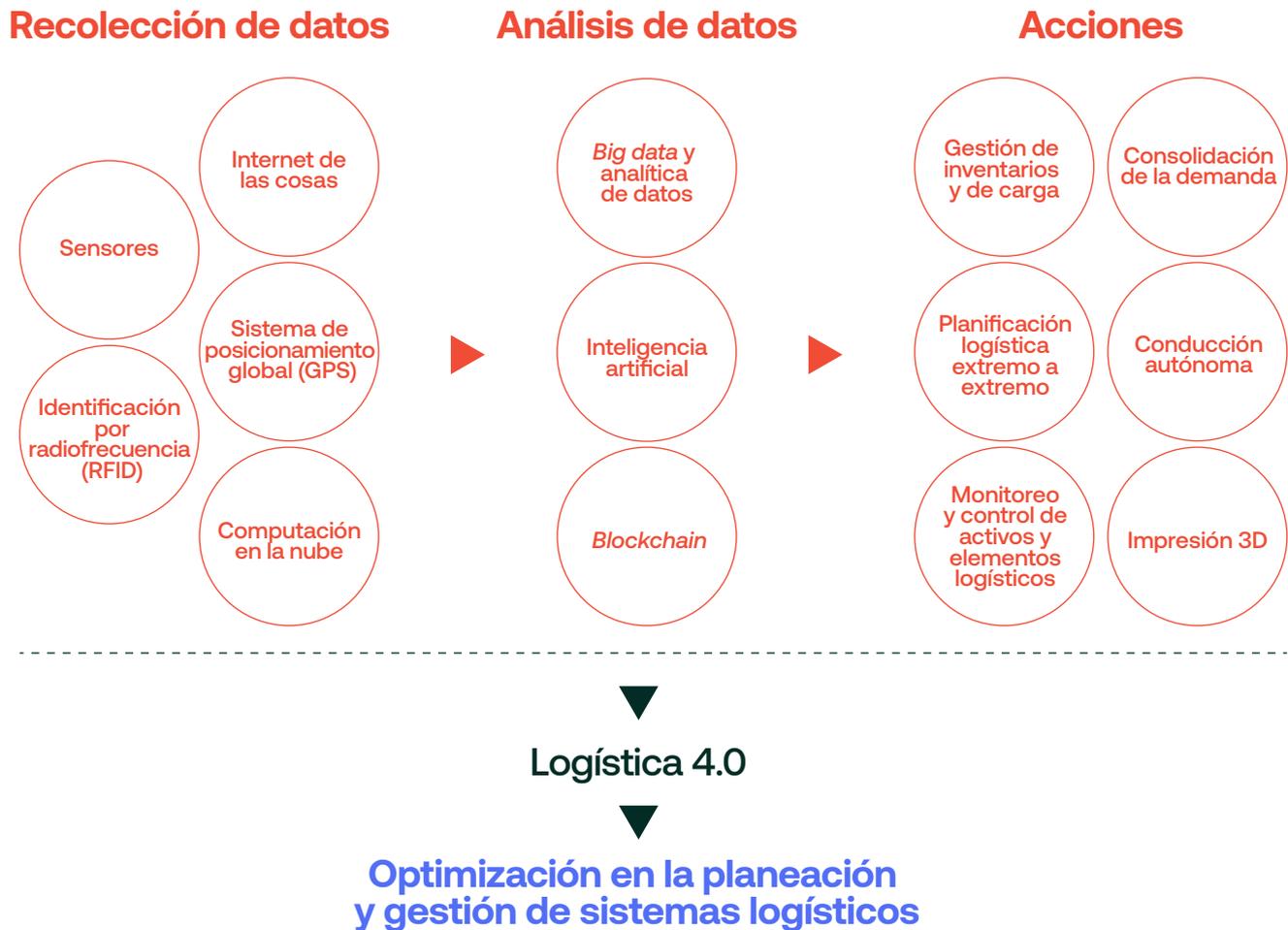
² Son sistemas físicos cuyas operaciones pueden ser monitoreadas, coordinadas, controladas e integradas por un sistema informático y de comunicaciones.

Figura A.3 1 —Flujos de material e información en la cadena del sector logístico



Fuente: Elaborado a partir de Zhou (2013) y Foro Económico Mundial (WEF, 2016b).

Figura A.3 2 — Optimización de la planeación y gestión de los sistemas logísticos mediante la digitalización de infraestructuras



Como resultado de la adopción de estas tecnologías en las infraestructuras del sector logístico, el Foro Económico Mundial (WEF, 2016b) ha identificado los siguientes aspectos centrales de la transformación digital:

— **Servicios de información.** La utilización de los datos permite tomar decisiones informadas, incluyendo aquellas sobre iniciativas digitales, como la creación de torres de control logístico, que permiten el monitoreo continuo y automatizado de los elementos logísticos, desde los envíos y los activos de transporte hasta la infraestructura, los trabajadores y los requisitos de los clientes. También posibilita el surgimiento de iniciativas de analítica como

servicio para el sector logístico. Las plataformas habilitadas digitalmente pueden consolidar la demanda de varios transportistas, optimizando el proceso de planificación logística de un extremo a otro y, según la ubicación del almacén y del lugar de entrega específica, sugiriendo modos de transporte apropiados.

— **Nuevos servicios logísticos.** Con la transformación, surgen nuevas ofertas al mercado, que amplían los servicios logísticos tradicionales, como, por ejemplo, plataformas transfronterizas mejoradas digitalmente.

— **Capacidades de entrega ampliadas.** Estas consisten esencialmente en nuevos métodos de transporte físicos, tales como el uso de drones o vehículos terrestres autónomos (por ejemplo, camiones autónomos). Estas capacidades también hacen referencia al uso de impresión 3D y el *crowdsourcing*, que consiste en obtener lo que uno necesita de un grupo indefinido de personas, generalmente una comunidad en línea, en lugar de obtenerlo de fuentes tradicionales.

— **Capacidades de participación en logística.** Hace referencia al surgimiento de servicios de economía compartida en partes tradicionales de la cadena logística, como el transporte y el almacenamiento.

Como se ha descrito, estas tecnologías propiciarán que el sector logístico utilice técnicas avanzadas para procesar y analizar la información recopilada, tales como el *big data*, la analítica de datos, la IA y la computación en la nube, que mejorarán la eficiencia de los procesos que se realizan en este sector.

Tendencias de digitalización en el sector logístico

Como se ha mencionado anteriormente, los avances tecnológicos están transformando el sector logístico. Por una parte, el uso extensivo de sensores y dispositivos de seguimiento, que utilizan tecnologías como el internet de las cosas (IdC), la identificación por radiofrecuencia (RFID), el sistema de posicionamiento global, las comunicaciones dedicadas de corto alcance y el reconocimiento automático de matrícula (GPS, DSRC y ANPR, por sus respectivas siglas en inglés) generan una gran cantidad de datos. Al ser analizados mediante técnicas de big data, analítica de datos e inteligencia artificial y compartidos en tiempo real a través de la computación en la nube, esos datos permiten a los diferentes actores que intervienen en la cadena de valor de este sector la detección e identificación de patrones que mejoran la eficiencia de los centros de almacenamiento, la gestión de los inventarios, el seguimiento de las mercancías y la forma de utilizar los modos de transporte, al facilitar la redirección automática de las cargas y disminuir los tiempos de transferencia. Esas acciones aumentan la eficiencia de los procesos operativos y permiten la contratación de servicios logísticos de manera más flexible y con mejores tarifas (WEF, 2021).

Por otra parte, las innovaciones en el almacenamiento, promovidas por la robótica y el uso de la realidad aumentada, están incrementando la velocidad, la eficiencia y la precisión de las operaciones de preparación de pedidos (WEF, 2021). Las plataformas digitales incluyen el *crowdsourcing*, cuya aplicación en el caso del sector logístico permite hacer un uso más eficiente de la capacidad disponible (por ejemplo, mediante el establecimiento de una red de vehículos de carga de muchos proveedores diferentes), lo que facilita el establecimiento de modelos de negocio que utilizan menos activos fijos, pero también que empresas logísticas pequeñas mejoren el nivel de utilización de sus propios activos al acceder a un mercado mayor. Por otra parte, la idea de *crowdsourcing* puede

extenderse para generar una plataforma de integración de la información de las empresas y agentes privados de distribución de carga (en los distintos canales de comercialización), que son las que cuentan con datos de interés, resultado de la digitalización de sus procesos (planeación de rutas, consolidación de la carga, volúmenes y tipo de carga, gestión de la flota, etc.). Una plataforma de esas características tiene el potencial de convertirse en una herramienta muy valiosa, que apoye con información la planeación y toma de decisiones, para un adecuado ordenamiento y gestión del transporte de carga y de los procesos en la distribución de mercancías. De esa forma, pueden contribuir a disminuir los impactos socioeconómicos del transporte de carga en las ciudades (incluidos los derivados de la congestión), impulsando su competitividad.

Con respecto al transporte y la entrega de mercancías, cabe señalar que la digitalización de las carreteras y la inclusión de sistemas inteligentes de transporte (STI) ha facilitado la coordinación de las operaciones de los transportistas al mitigar los riesgos asociados con el traslado de las cargas y mejorar la confiabilidad de los tiempos de entrega. Además, ha abierto la posibilidad de introducir en el futuro vehículos de conducción autónoma e implementar la comunicación entre vehículos y entre estos y la infraestructura (V2V y V2I, por sus respectivas siglas en inglés). Adicionalmente, se han incorporado robots (droides) y drones en la entrega de los productos a los clientes finales (la llamada entrega de última milla), lo que, en principio, podría traducirse en ahorros en los costos en las cadenas de suministro, pero cuyo impacto en el largo plazo es difícil de predecir (WEF, 2021).

Otra tecnología que influye en la cadena logística es la impresión 3D, también conocida como fabricación aditiva en capas, que permite la creación de objetos sólidos tridimensionales a partir de planos digitales. Esta tecnología

podría tener impactos en las cadenas de suministro y fabricación al facilitar la producción fuera de las plantas tradicionales, reducir las necesidades de transporte de las mercancías y permitir la personalización de los productos de acuerdo con las características y necesidades de los clientes finales (WEF, 2021).

Por último, el *blockchain* se vislumbra como otra tecnología con un gran impacto potencial sobre el sector logístico, teniendo en cuenta que, a partir de sus características de descentralización y criptográficas, podría ser utilizada en diferentes procesos logísticos, tales como el seguimiento y legalización de las mercancías, la suscripción de contratos inteligentes y la validación de identidades digitales (WEF, 2021).

Cuadro A.3 1 — Tecnología, nuevos negocios y servicios que promoverán la digitalización en el sector logístico

Tecnología	Nuevos negocios o servicios	Impactos esperados
Sistemas inteligentes de transporte y comunicación entre vehículos (V2V) y entre estos y la infraestructura (V2I)	<ul style="list-style-type: none"> – Control del flujo de velocidad – Peajes electrónicos en corredores logísticos – Generación de alertas para la prevención de siniestros – Control de rutas – Control y trazabilidad de los recursos (cargas, mercancías y personas) – Control de la llegada y salida de modos de transporte (drones, trenes, camiones, aviones y barcos, etc.) – Vehículos autónomos (drones, trenes, camiones, aviones, barcos, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> – Reducción de la siniestralidad – Disminución de la congestión vehicular – Reducción de la huella de carbono – Estandarización de las tecnologías – Reducción de los costos de operación logística – Facilidad de acceso a las redes de telecomunicaciones
IdC, identificadores digitales y sensores	<ul style="list-style-type: none"> – Trazabilidad de las cargas y mercancías a lo largo de toda la cadena logística – Automatización de los procesos – Automatización de las bodegas – Puertos inteligentes (<i>smart ports</i>) 	<ul style="list-style-type: none"> – Facilidad de acceso a las redes de telecomunicaciones – Mitigación de riesgos asociados con el traslado de las cargas – Reducción de la variabilidad en los tiempos de entrega
Plataformas digitales	<ul style="list-style-type: none"> – <i>Crowdsourcing</i> y plataformas de compartición aplicados a diversos activos, como bodegas y vehículos 	<ul style="list-style-type: none"> – Uso más eficiente de la capacidad disponible – Establecimiento de modelos de negocio que utilizan menos activos físicos – Acceso a un mercado de mayor tamaño para las empresas logísticas pequeñas y medianas
Automatización	<ul style="list-style-type: none"> – Automatización de procesos – Automatización de bodegas – Puertos inteligentes 	<ul style="list-style-type: none"> – Reducción de los costos de operación logística
Impresión 3D	<ul style="list-style-type: none"> – Producción descentralizada 	<ul style="list-style-type: none"> – Reducción de los costos de operación logística
<i>Blockchain</i>	<ul style="list-style-type: none"> – Desintermediación financiera – Despacho y gestión aduanera – Digitalización de los documentos – Contratos electrónicos – Transacciones digitales – Trazabilidad de las cadenas de producción y de suministro 	<ul style="list-style-type: none"> – Formalidad de la actividad logística

Casos típicos de digitalización en el sector logístico

En este apartado se identifican casos típicos de digitalización en el sector de la logística que pueden ser de interés para CAF, sin que esto lleve a una exclusión de otros tipos de proyectos: digitalización de corredores logísticos, digitalización de aduanas, plataformas digitales para la compartición de recursos, el control y la trazabilidad de la carga, plataformas para el comercio y las transacciones digitales, y optimización en la entrega de mercancías³. Estos casos pueden tener en común uno o más de los elementos que se exponen a continuación.

La aplicación de la digitalización a la logística permite múltiples usos de los datos: a nivel estratégico, por ejemplo, para la optimización de rutas y modos de transporte; a nivel táctico, para la planificación diaria de recursos y activos y para la gestión y el control del desempeño; y, a nivel operacional, en labores como el rastreo de las entregas en tiempo real. Por supuesto, objetivos como los enunciados no son nuevos, porque siempre han estado presentes en los esfuerzos de optimización de las operaciones logísticas. Sin embargo, la abundancia de datos transparentes, consistentes, holísticos (de múltiples fuentes) y en tiempo real, unido a ciertos avances tecnológicos, como las torres de control omniscientes (que brindan visibilidad de un extremo a otro de la cadena de suministro) y la inteligencia artificial, permiten pronósticos cada vez más precisos a nivel estratégico, táctico y operacional. Estos tienen como propósito asegurar una adecuada previsión de los recursos o procesos (personas, materiales, equipos, infraestructura), que potencie su optimización en forma oportuna para alinearse con las necesidades del mercado y aumentar el empleo de activos (Arthur D. Little, 2017; Barreto et al., 2017; DHL, 2020a).

En los puertos intermodales y corredores logísticos, la digitalización ofrece grandes oportunidades para reforzar las eficiencias mediante la aplicación del IdC o de tecnologías más tradicionales, como el RFID. Con ellas, se puede hacer un seguimiento de la carga y los activos logísticos y disminuir los tiempos en procesos como el cobro de peajes. Adicionalmente, el avance tecnológico está permitiendo la introducción de drones y vehículos terrestres no tripulados, así como la automatización de procesos y de bodegas mediante la introducción de robots y herramientas de *big data*, la analítica de datos y la inteligencia artificial. Adicionalmente, los drones de entrega posibilitan el reparto a domicilio, al sitio preciso donde se encuentran los clientes si se cuenta con los datos de

geolocalización correctos. A su vez, los camiones no tripulados, que se encuentran todavía en una fase experimental, podrían beneficiarse del establecimiento de infraestructura en corredores logísticos para vehículos autónomos.

Por su parte, la introducción de plataformas digitales en elementos tradicionales de la cadena logística, como el transporte y el almacenamiento, posibilita el desarrollo de economías de compartición. Así, las empresas podrán colaborar para aprovechar la capacidad de los vehículos, usándolos simultáneamente (por ejemplo, compartiendo viajes) o definiendo un cronograma de uso en el tiempo (por ejemplo, compartiendo camiones), lo cual implicará la creación de plataformas donde las empresas de logística puedan acceder a información sobre carga, activos compartidos, rutas y tasas de uso. En el caso del almacenamiento, la compartición de bodegas mitiga el riesgo de las empresas de tener una gran base de costos fijos y permite llevar a cabo la consolidación de pedidos y distribución en varias ubicaciones. Ampliar las opciones de bodegaje proporciona una mejor relación costo-servicio y reduce los kilómetros recorridos hasta la entrega final.

La habilitación de plataformas digitales —por ejemplo, en los puertos marítimos, los aeropuertos y los corredores logísticos— permite la gestión de la carga en tiempo real, optimiza el uso de los activos en los intercambios intermodales y genera información útil para planear las expansiones de capacidad en función de la demanda. A su vez, la digitalización de las relaciones con el Estado, como las que se derivan de procesos aduaneros, resultan en eficiencias en la gestión de la infraestructura, entre ellas un menor tiempo de entrega de suministros en las cadenas logísticas o de productos en los mercados finales.

Estas posibilidades han dado surgimiento al concepto de torres de control logístico, las cuales conceptualmente tienen tres niveles: i) ejecución de procesos, cuyas funciones incluyen la planificación, el seguimiento y el rastreo del transporte, la facturación, la auditoría y los pagos; ii) análisis, que cumple las funciones de evaluación y focalización del valor, abastecimiento y optimización, gestión del cumplimiento y análisis del desempeño; y iii) visibilidad e integración de datos, con funciones relacionadas con el tablero de control y la generación de alarmas.

³ Se han seleccionado los procesos logísticos de mayor interés para la metodología, pero esto no excluye la posibilidad de incorporar la digitalización en aspectos como el procesamiento de pedidos, la recolección de productos para empaquetamiento, la consolidación de la carga, la logística inversa y los viajes en vacío.

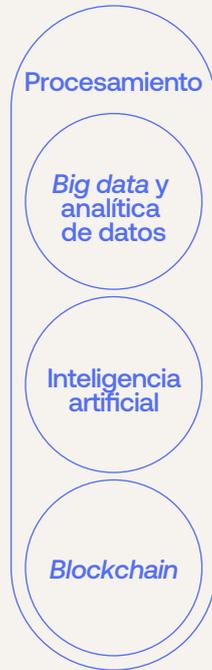
Figura A.3 3 — Componentes de la digitalización del sector logístico

Digitalización del sector logístico



Tecnologías 4.0

Generación de datos



Implementación de nuevas tecnologías



El concepto de torres de control logístico puede extenderse, con sus propias particularidades, a la gestión y monitoreo inteligente de sistemas portuarios y de corredores logísticos.

Los datos que se recopilan se pueden organizar en la nube con fines de seguimiento, automatización y análisis para detectar y predecir problemas y optimizar la toma de decisiones. De esta forma, generan un valor agregado en términos de altos niveles de transparencia en toda la cadena de valor y aumento en los niveles de satisfacción del cliente al ayudar a los proveedores de logística a reaccionar de manera más flexible ante situaciones inesperadas (WEF, 2016b).

La digitalización también promueve el desarrollo de nuevos métodos de producción, como la impresión 3D. Esta tecnología podría facilitar, por ejemplo, que un proveedor de

servicios de logística reciba los planos, imprima el producto, lo envíe a un cliente cercano e incluso instale el producto final allí donde se encuentre el cliente.

En cuanto a la cadena de bloques, aunque su nivel de adopción aún es incipiente, tiene un gran potencial en la mejora de procesos de la industria logística. Esta tecnología promete reducir la intermediación y, en consecuencia, los costos y la complejidad de las transacciones, aumentar la calidad de la prestación de los servicios, disminuir los riesgos, mejorar la flexibilidad y solucionar los problemas de trazabilidad del producto y las falsificaciones (Niels y Mortiz, 2017; Queiroz y Fosso, 2019).

Aplicaciones prácticas de la digitalización del sector logístico

En algunos países se han adelantado procesos relacionados con la digitalización del sector logístico. Dichos procesos buscaban solucionar diferentes problemáticas relacionadas con la gestión de los puertos, las carreteras, los corredores logísticos y ferrocarriles, así como desafíos asociados con

la entrega de productos a los usuarios finales y la eficiencia de los procesos aduaneros. A continuación, se presentan a modo de ejemplo, algunas experiencias relevantes sobre la incorporación de elementos de digitalización en la infraestructura del sector logístico.

Digitalización del puerto de Hamburgo en Alemania

El objetivo central de este proyecto, desde el punto de vista logístico, era establecer una infraestructura inteligente que permitiera optimizar los flujos de información, para, de esta forma, gestionar los flujos comerciales del puerto de manera más eficiente.

Con el fin de alcanzar estos objetivos, en el año 2010, la Autoridad Portuaria de Hamburgo (HPA) lanzó una iniciativa de puerto inteligente (*smart port*), con dos proyectos principales: *smartPORT Logistics* (SPL) y *smartPORT Energy* (SPE). El puerto inteligente se basa en un conjunto de procesos comerciales que promueven un mejor uso de los recursos disponibles mediante la coordinación de los actores y la capacidad de respuesta ante circunstancias cambiantes. Para ello considera los impactos económicos y ecológicos de las acciones, haciendo uso de diversas fuentes integradas de información.

La idea principal es integrar en un solo centro de tráfico portuario diferentes centros de control del tráfico (terrestre,

marítimo y ferroviario). Ese centro único permite, con base en datos en tiempo real, la toma de decisiones casi inmediata y la interacción continua con actores que participan en las actividades de transporte. La integración del tráfico y la gestión de la infraestructura hace posible encaminar los flujos de tráfico según la situación de congestión en el puerto. Esto se ha logrado mediante una variedad de sensores y actuadores (IdC) ubicados en la infraestructura portuaria que ayudan a coordinar los flujos de tráfico fluvial y vial, así como medir las condiciones de la infraestructura y los impactos ambientales. Los datos recopilados se procesan en sistemas independientes y luego se transfieren a un sistema de información central basado en la nube para explorar, agregar y distribuir información a través de diferentes canales a varios actores y tomadores de decisiones involucrados (Heilig et al., 2017)

Gracias a la implementación de la filosofía de *smart port*, el puerto de Hamburgo está considerado como un líder mundial en su campo. La solución garantiza una operación

fluida, donde la interacción entre la tecnología de sensores y los sistemas de análisis, pronóstico e información ofrece enormes mejoras de eficiencia, lo que, según HPA, permitirá que el puerto mantenga su posición de liderazgo en Alemania

Aplicación del IdC, el big data y la analítica de datos para optimizar la entrega de mercancía de DHL en India

En la cadena de suministro del comercio electrónico (*e-commerce*), la entrega del producto al consumidor se conoce como “el último kilómetro” o “última milla”. El proceso generalmente se inicia en una bodega o centro de distribución y finaliza en la residencia, las oficinas o los locales del consumidor. De acuerdo con DHL, este último eslabón de la cadena de suministro es a menudo el de mayor costo y, por lo tanto, su optimización es fundamental para reducir los costos logísticos (DHL, 2013).

Con el fin de reducir estos costos, DHL implementó en 2018 la solución *SmartTruck* en la India, previamente desarrollada y testeada en Alemania. La iniciativa combina el internet de las cosas con el *big data* y la analítica de datos para optimizar la operación del “último kilómetro” (DHL, 2020a).

La solución *SmartTruck* se encuentra constituida por una flota de 745 camiones inteligentes, 12 centros logísticos distribuidos por todo el país, una torre de control que coordina la operación y una aplicación móvil para que los usuarios consulten información en tiempo real (DHL, 2020b).

Cada camión inteligente está equipado con sensores para el monitoreo de las condiciones del vehículo y la mercancía, un sistema de posicionamiento GPS, dispositivos de telecomunicaciones para enviar y recibir datos y una pantalla para mostrar información relevante al conductor (DHL, 2019a).

Los datos dinámicos generados por los sensores y el GPS de los camiones, sumados a datos del clima, el tráfico, la disponibilidad de clientes para recogida o entrega de mercancía, el nivel de prioridad del envío, las características técnicas y el historial de mantenimiento o de accidentes de los camiones, entre otros, son analizados utilizando algoritmos de *big data* y analítica de datos. Estos análisis permiten generar: i) rutas óptimas y dinámicas de entrega y recogida de mercancía; ii) predicciones de las necesidades de mantenimiento de los camiones; y iii) seguimiento del comportamiento de los conductores, incluyendo niveles de cansancio (DHL, 2020b).

y Europa (HPA, s.f.). Estas eficiencias se traducen en mejoras directas para los usuarios de los puertos, por ejemplo, los barcos y los camiones, los cuales reducen los tiempos de espera en sus operaciones de carga y descarga.

Las rutas de entrega o recogida dinámicas incluyen la definición inicial diaria de una ruta óptima, en la que se define la secuencia de entrega o recogida de la mercancía. Una vez en la vía, la ruta se actualiza en tiempo real según las condiciones dinámicas de tráfico, clima, o disponibilidad del cliente, y transmitida al conductor a través del sistema de navegación a bordo (DHL, 2013).

El algoritmo de mantenimiento preventivo toma los datos de un sistema de diagnóstico a bordo que monitorea el estado del vehículo con el objetivo de detectar el malfuncionamiento de alguna de sus partes y predecir la necesidad de realizar mantenimientos para evitar que los camiones salgan de operación (DHL, 2020b).

Finalmente, la solución cuenta con un sistema de diagnóstico a bordo que permite monitorear el desempeño de los conductores, identificando y clasificando patrones para la mejora continua de la operación. El sistema es capaz de detectar niveles de fatiga de los conductores, lo cual ayudaría a prevenir siniestros (DHL, 2020b).

La implementación de esta solución en la India ha permitido mejorar diversos indicadores operacionales. Entre ellos se encuentran el tiempo de entrega, la utilización de los activos, los kilómetros recorridos, la velocidad del recorrido, el consumo de combustible, las emisiones de CO₂ y la vida útil de la flota. Estas mejoras se traducen, para el operador logístico, en reducción de los costos y, para los clientes, en un mayor grado de satisfacción.

Dentro de los indicadores de *SmartTruck* en India se encuentran (DHL, 2019b):

- La entrega a tiempo del 95 % de las mercancías.
- El seguimiento de la mercancía 100 % en línea y en tiempo real.
- La reducción del tiempo de recorrido en hasta el 50 %.

Digitalización de las aduanas en Corea

Entre los años 2003 y 2009 la Administración de Aduanas de Corea del Sur (KCS, por sus siglas en inglés) realizó una implementación de tres planes estratégicos de largo plazo: el “Plan de aduanas de clase mundial” (2003–2005), el “Plan de modernización del servicio aduanero” (2006–2009) y, durante la segunda década del siglo XXI, una “Búsqueda para ser el mejor servicio aduanero del mundo” (Hur, 2009).

El “Plan de aduanas de clase mundial” logró establecer los sistemas de despacho de exportación, importación y gestión de la carga comercial basados en internet. También creó el sistema de ventanilla única, igualmente basado en internet, para vincular electrónicamente a todas las partes interesadas, incluidas las agencias gubernamentales, las autoridades de confirmación de requisitos, los bancos y las empresas de logística. Como resultado de su implementación, se redujo la documentación, el tiempo de procesamiento de la carga y los costos de logística comercial y se armonizaron las actividades comerciales entre las autoridades interesadas.

A su vez, el “Plan de modernización del servicio aduanero” permitió compartir información en tiempo real sobre el manejo de la carga con las empresas de logística participantes para reducir el tiempo y el costo de procesamiento. Su propósito era facilitar el comercio y la seguridad de la carga en un momento en el que hubo un aumento del volumen comercial a raíz de los tratados de libre comercio y la globalización. El Plan logró como resultados el establecimiento de un avanzado sistema de gestión de aduanas basado en las tecnologías de la información (TI), que permite el seguimiento de la carga desde su llegada hasta su liberación; la presentación de la declaración de aduanas en cualquier momento y lugar, y el intercambio de información por parte de los miembros de la cadena de suministro global.

Desde el punto de vista tecnológico, la KCS simplificó los procedimientos de autorización aduanera mediante la configuración de un sistema basado en la web, denominado UNI-PASS, que fue en su momento el primer sistema de autorización aduanero 100 % electrónico del mundo. En 2018, UNI-PASS conectaba a 169 agencias del Gobierno coreano con 260.000 compañías, como empresas logísticas, comerciales, navieras, aerolíneas y bancos (Korea Customs Service, 2018). La estructura funcional de UNI-PASS se presenta en la Figura A.3 4.

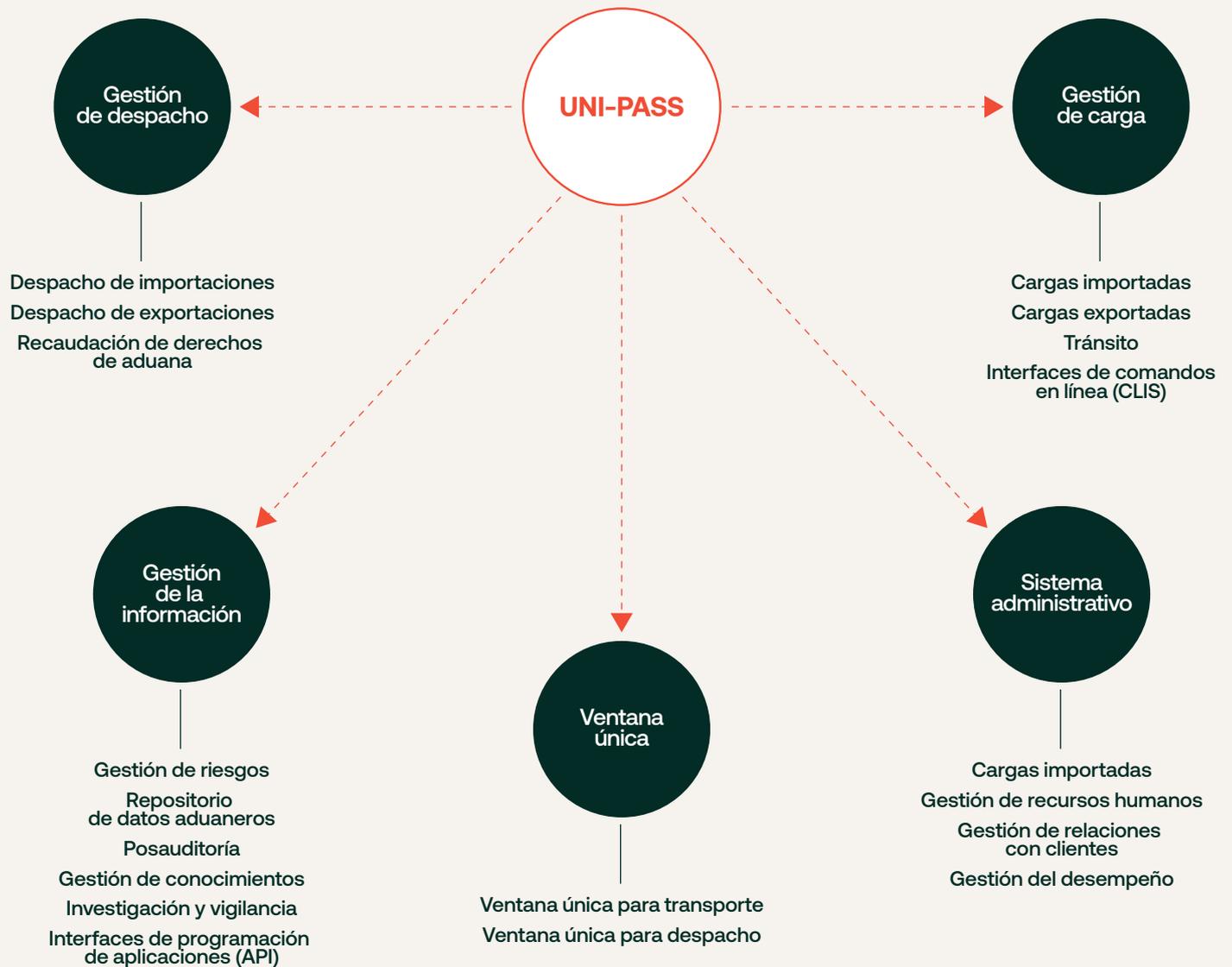
Si bien los dos planes mencionados fueron exitosos, en 2009 la KCS comenzó a trabajar en espacios de mejora en temas relacionados con el manejo de una operación logística segura. Para ello, introdujo el programa de Operador Económico Autorizado (OEA) en mayo de 2009. Su objetivo era reducir los costos logísticos y lograr la seguridad de la cadena de suministro. Las empresas certificadas como OEA en función de su historial de cumplimiento y seguridad pueden disfrutar de varios beneficios en el despacho de aduanas, como un procedimiento acelerado y la exención de inspección en sus propios países y en el extranjero.

Como parte de las actividades de gestión de riesgos, las cargas cuestionables están sujetas a una inspección minuciosa gracias a las etiquetas RFID unidas a las cargas, lo que hace posible rastrear mercancías en todas las etapas de distribución, desde la producción, el transporte y el almacenamiento hasta el despacho. La tecnología RFID también eliminó la transmisión manual de datos, que era el método anterior para controlar y verificar cargas. Ahora, el movimiento de cargas se controla automáticamente, lo que facilita los procedimientos de despacho y la KCS incluso rastrea los productos importados hasta que llegan a los distribuidores finales.

En 2009 la implementación de UNI-PASS permitió a la KCS reducir el tiempo de despacho de importación a menos de dos horas, más rápido que la recomendación de la UNCTAD, que es de cuatro horas. Además, el tiempo requerido para liberar mercancías después de llegar a los puertos había disminuido de 9,6 días a 3,38 días (Hur, 2009).

En el año 2018, UNI-PASS estaba considerado el sistema más rápido entre los 182 países de la Organización Mundial de Aduanas (OMA). Con su implementación, mejoraron indicadores, como los tiempos para la autorización de exportaciones, que pasó de un día en 1992 a 1,5 minutos en 2015, y los tiempos de autorización para importaciones, que disminuyeron de 2 días en 1994 a 1,5 horas en 2015. Las mejoras obtenidas han permitido ahorros a los usuarios en términos de logística, almacenamiento de carga, reducción de gastos de personal e infraestructura (Korea Customs Service, 2018).

Figura A.3 4 — Diagrama conceptual del sistema UNI-PASS



Fuente: Korea Customs Service (2018).

Digitalización de la gestión y operación del canal de Panamá y aplicación del internet de las cosas

Con más de 100 años en operación, el canal de Panamá afronta importantes retos. Estos están relacionados con:

i) cómo controlar y mantener operaciones seguras y eficientes mediante el uso de información en tiempo real y; ii) cómo utilizar esta información y realizar predicciones que permitan tomar decisiones que afectan la operación, las tarifas de uso y el crecimiento futuro de esta infraestructura, de manera que siga siendo relevante y competitivo. Desde el punto de vista técnico, el reto consiste en mantener tecnologías legadas, que comprenden una variedad de sistemas tecnológicos y equipos, e integrarlos con las tecnologías más avanzadas para la recolección de datos que monitorean y controlan cada aspecto de la operación del canal. En particular, el enfoque se ha puesto en la gestión y operación del canal de Panamá mediante centros de control del tráfico marítimo, la gestión del recurso hídrico y los sistemas de seguridad, apoyados en el uso extensivo del internet de las cosas (Safa et al., 2019).

Con el fin de solventar estos retos, la Autoridad del Canal de Panamá (ACP) ha realizado contratos de modernización que se han enfocado en la digitalización y el uso del internet de las cosas (IdC) con una serie de objetivos: i) hidrológicos, incluyendo el monitoreo de los niveles de agua y las plantas hidroeléctricas en los lagos Gatún y Miraflores y las estaciones de bombeo; ii) el monitoreo, control y despacho de los barcos en tiempo real; iii) el control de la seguridad en la operación del canal; y iv) el despacho del ferrocarril intermodal del canal (Safa et al., 2019).

El monitoreo, control y despacho de los barcos que atraviesan el canal se hace por medio de un sistema electrónico de visualización e información (ECDIS, por sus siglas en inglés) de navegación marítima. La información obtenida se despliega en tiempo real en las salas de control del canal y permite, entre otros aspectos, conocer las condiciones climatológicas, identificar a los barcos y seguir a las embarcaciones, así como coordinar los remolcadores y dragas. Un *software* de gestión de embarcaciones coordina los horarios de llegada de los buques al canal de Panamá. El sistema también informa de la disponibilidad de esclusas y remolcadores, junto con las tripulaciones necesarias para las operaciones. Por su parte, la programación del cruce de embarcaciones debe considerar diversas variables, incluyendo su hora de llegada, la naturaleza de la carga y si se hicieron reservas anticipadas para el paso del canal; los barcos más grandes requieren más agua en las esclusas, lo que aumenta el tiempo de tránsito. También hay momentos en que las esclusas pueden estar en mantenimiento y no funcionan. En 2017 se anunció la implementación de un sistema único integrado de planificación y programación, que utiliza algoritmos y modelos para determinar todas las

rutas disponibles para los barcos y planificar con semanas de anticipación. El objetivo central de estos sistemas es reducir el tiempo de espera de las embarcaciones e incrementar el número de barcos que cruzan el canal (Safa et al., 2019).

Por otra parte, la aplicación del IdC en el canal permite el monitoreo y la gestión de los datos de desempeño de los equipos, el uso de energía y las condiciones ambientales en tiempo real. Esos datos mejoran los procesos de toma de decisiones y ayudan a mitigar los riesgos operacionales. También se utilizan para la sincronización automática con las estaciones meteorológicas locales, lo que permite que los sistemas de programación incorporen información que les ayude a afrontar cambios súbitos del clima en el área.

En cuanto a los sistemas de seguridad, la Autoridad del Canal de Panamá (ACP) contrató un sistema integrado de control y seguridad de última tecnología. Dicho sistema incluye control de acceso a edificios, control de vehículos, alarmas perimetrales, detección de intrusos en edificios y sistemas de control de video y grabación para las esclusas en ambos lados del canal, el del Pacífico y el Atlántico, así como de los edificios asociados. De esta forma, la seguridad se asegura a través de sistemas de alta tecnología que registran, monitorean y regulan el acceso y las acciones de embarcaciones, empleados y visitantes.

A su vez la Panama Canal Railway Company (PCRC), la empresa ferroviaria, implementó un sistema de despacho y control de trenes diseñado para evitar colisiones, imponer límites de velocidad y ayudar a proteger a los trabajadores y equipos ferroviarios. El sistema interactúa con la base de datos de la computadora a bordo de la locomotora, que contiene información de seguimiento, como apartaderos, desvíos, puntos de conmutación y señales. También incorpora el sistema de despacho de telemetría, que emite o elimina autorizaciones para trenes en cualquier segmento de la vía o ruta dentro del sistema, y utiliza un GPS en tiempo real de alta precisión.

Como resultado, la ACP ha logrado integrar sistemas legados con una amplia variedad de sistemas y equipos de última tecnología para recopilar datos y traducirlos en información útil. Esta se utiliza en la planificación y ejecución de las operaciones diarias, generando innovaciones en logística marítima, ferrocarriles intermodales e industria portuaria. Así mismo, la implementación de un sistema único integrado de planificación y programación ha permitido reducir el tiempo de espera de los buques, aumentar la eficiencia, al hacer que más barcos atraviesen las esclusas y optimizar los costos relacionados con el uso del canal de Panamá.

Corredores logísticos de la TEN-T en Europa

Uno de los sectores estratégicos de la Unión Europea (UE) es el de transporte, por su rol en la integración de los países. El transporte no solo viabiliza y facilita la libre circulación de personas, servicios y bienes (Unión Europea, 2019), sino que además permite el crecimiento de la economía, al representar cerca del 5 % del PIB, y la creación de puestos de trabajo, empleando directamente a casi 10 millones de personas (Unión Europea, 2011).

En 2011 el transporte europeo se encontraba en una encrucijada, debiendo hacer frente tanto a antiguos como a nuevos problemas asociados (Unión Europea, 2011), entre ellos:

- El transporte eficiente de ciudadanos y mercancías, con el fin de satisfacer las necesidades de los más de 500 millones de ciudadanos⁴.
- El cumplimiento de las exigencias medioambientales para mitigar el cambio climático y cumplir la meta de limitar el aumento de la temperatura a menos de 2°C, con el objetivo de reducir las emisiones de CO₂ del sector del transporte en un 60 % antes de 2050 en comparación con los niveles de 1990.
- Garantizar la unión de los sistemas de transporte orientales y occidentales mediante el cierre de las brechas de infraestructura que existen en estos dos lados del continente, orientados a resolver los problemas de congestión terrestres y aéreos.
- Reducir la dependencia del petróleo, haciendo un uso más eficiente de la energía e incorporando nuevas tecnologías. Esto evitaría, además, el declive de la industria del transporte europeo, manteniendo su posición competitiva frente a mercados de transporte de otras regiones del mundo.

Para buscar soluciones a esta problemática, la Unión Europea definió iniciativas enfocadas a la creación de un marco eficiente para los usuarios y operadores de transporte, la implantación de nuevas tecnologías y el desarrollo de infraestructuras adecuadas (Unión Europea, 2011).

Dentro de estas iniciativas se encontraba la formulación de nuevas orientaciones para el desarrollo y modernización de la infraestructura de la Red Transeuropea de Transporte (TEN-T, por sus siglas en inglés). Esta comprende una red de transporte intermodal (modos terrestre, aéreo y acuático),

tanto de mercancías como de personas, cuyo objetivo es fomentar la cohesión territorial, el crecimiento económico y la integración de las regiones orientales y occidentales de la UE mediante el desarrollo de infraestructuras, flujos de información y procedimientos en todo el sistema de transporte (Unión Europea, 2011; Unión Europea, 2013; Óberg et al., 2016).

En 2010, la UE expidió la Directiva 2010/40/UE (Parlamento Europeo y Consejo Europeo, 2010). Dicha directiva fue redactada teniendo en cuenta la importancia de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en el funcionamiento y la gestión de las redes de transporte y los sistemas de transporte de mercancías, dada su capacidad para mejorar la eficiencia de los procesos y del intercambio de información, facilitar la integración intermodal y aumentar la velocidad de las operaciones. En ella, se establecía un marco para la implantación de sistemas de transporte inteligentes (STI) que permitieran cumplir las especificaciones adoptadas por la Comisión, relacionadas con las aplicaciones que garantizan su compatibilidad e interoperabilidad del sistema. El STI abarca aspectos más amplios que los relacionados con la implementación de tecnologías digitales en los corredores logísticos de la TEN-T, tales como la movilidad dentro de los sistemas de transporte en las ciudades.

Como parte de esta iniciativa, la UE creó también el sistema de información TENtec. La finalidad de dicho sistema es coordinar y dar soporte a esa red mediante el almacenamiento y la gestión de datos técnicos, geográficos y financieros para el análisis, la gestión y la toma de decisiones de políticas relacionadas con la TEN-T y el programa de financiación subyacente. Todas las partes interesadas se benefician ahora de una mayor visibilidad, calidad de los datos y una visión general actualizada y sistemática de la ejecución presupuestaria y la implementación técnica de cada proyecto TEN-T.

Adicionalmente, en 2015 la UE creó el Foro de Transporte y Logística Digital (DTLF, por sus siglas en inglés) (Unión Europea, 2015) con el objetivo de mejorar la interoperabilidad en este sector de actividad en Europa. Para alcanzarlo, impulsa una estrategia coherente entre los diferentes países miembros con el objetivo de eliminar las barreras técnicas, operativas y administrativas entre los modos de transporte y dentro de ellos, mediante un intercambio electrónico de información más eficiente (Digital Transport & Logistics Forum, 2020a).

⁴ En ese momento se incluía en el cómputo a los ciudadanos del Reino Unido. Ahora son aproximadamente 450 millones.

El DTLF brinda asesoramiento técnico a la Comisión Europea sobre el desarrollo y la aplicación de normas, políticas, programas y proyectos en temas relacionados con la digitalización del transporte y la logística. También facilita el intercambio de información sobre iniciativas, proyectos y asociaciones que se ocupan de la digitalización de estos sectores, preparando documentos y proponiendo soluciones a la Comisión que promuevan el intercambio electrónico de información entre los diferentes actores que interactúan en el transporte y la logística.

Actualmente, este foro se encuentra trabajando en dos temas de interés, para los que se han conformado grupos de estudio: i) el desarrollo de sistemas de información digital interoperables que optimicen los flujos de carga en los corredores de transporte; y ii) la promoción del uso de documentos electrónicos. Otros temas de interés son la infraestructura para el intercambio de datos y la gobernanza, protección y responsabilidad de los datos (Digital Transport and Logistics Forum, 2020b).

El trabajo del grupo de “promoción del uso de documentos electrónicos” se centra en lo siguiente: promover y facilitar el uso de documentos en ese formato para que sirvan como prueba de la existencia de un contrato de transporte (guías y conocimiento de embarque) y sean aceptados tanto por las autoridades de los Estados miembros como por los bancos y las compañías de seguros; explorar hasta qué punto los elementos de información y datos contenidos en los documentos de transporte podrían armonizarse en los diferentes modos de transporte y el potencial para desarrollar infraestructuras y entornos comunes para la transmisión de datos; y analizar otros documentos relacionados con el transporte (documentos asociados al medio de transporte y los que portan los conductores) (Digital Transport and Logistics Forum, 2020c).

Por su parte, las áreas de trabajo del grupo de “desarrollo de sistemas de información digital interoperables que optimicen los flujos de carga en los corredores de transporte” se enfocan en lograr un intercambio confiable de información entre las empresas, así como entre los países, en su interior y entre los diferentes modos de tráfico a lo largo de corredores y cadenas de suministro. Para ello, identifican los obstáculos operativos que dificultan el flujo de carga a lo largo de los corredores de transporte de la TEN-T y las barreras técnicas, legales y administrativas que limitan dicho acceso y la disponibilidad de información. Además, proponen medidas a corto, mediano y largo plazo para superarlas, con el fin de aumentar la interoperabilidad e interconectividad de los sistemas y los servicios digitales en todos los corredores del TEN-T (Digital Transport and Logistics Forum, 2020c).

Recientemente se informó de que la UE financiará once proyectos para probar nuevas tecnologías del ecosistema 5G

européo, de los cuales tres tienen como finalidad proporcionar aplicaciones en movilidad transfronteriza que allanen el camino a sistemas de transporte autónomos en las principales carreteras, trenes y rutas marítimas (Unión Europea, 2020d).

Los tres proyectos transfronterizos servirán como pilotos para probar y validar diferentes casos de uso en el campo de la movilidad y el transporte, utilizando tecnologías 5G. El proyecto se implementará en diferentes modos de transporte, tales como automóviles, camiones, trenes, cápsulas, barcas y barcos, y brindará una conectividad mejorada para los usuarios que utilicen estos corredores logísticos. Es importante resaltar que estos proyectos son complementarios a los proyectos de prueba de corredores 5G que fueron lanzados en noviembre de 2018. Se estima que las inversiones requeridas para su ejecución ascienden a los EUR 41 millones, de los cuales EUR 31,1 millones serán financiados por la UE en el marco del programa Horizonte 2020.

Los resultados de su ejecución se utilizarán para diseñar y estructurar el despliegue de corredores 5G en Europa, que se espera sea incluido en el programa digital del Mecanismo Conectar Europa (CEF) 2021-2027.

Los proyectos reúnen a una amplia variedad de actores. Entre ellos se encuentran los operadores y proveedores de telecomunicaciones, los operadores de carreteras, los administradores de infraestructura ferroviaria, las empresas de transporte y logística, los fabricantes de vehículos y sus proveedores de equipos, los fabricantes de equipos ferroviarios, emprendedores que desarrollan aplicaciones y centros de investigación públicos y privados, así como las autoridades de transporte de los gobiernos nacionales y regionales de los países miembros.

Uno de estos tres proyectos se desarrollará en el corredor logístico del Mediterráneo, el cual será ejecutado por un consorcio formado por 21 entidades de seis estados diferentes y cuya coordinación estará liderada por empresas y centros tecnológicos de Cataluña (España) (La Vanguardia, 2020).

La implementación de tecnologías 5G y su coexistencia con la de evolución a largo plazo (LTE, por sus siglas en inglés) permitirán a Europa un importante avance en el desarrollo del proyecto de sistemas de transporte inteligentes de 5G (STI-5G). Este sistema tiene por objetivo garantizar que todas las áreas urbanas, así como las principales carreteras y ferrocarriles de Europa, dispongan de una cobertura 5G ininterrumpida. Esta facilitará el desarrollo de la iniciativa Movilidad Automática y Conectada (CAM, por sus siglas en inglés), consistente en la incorporación de vehículos autónomos o conectados que, a través de las tecnologías de V2I y V2V, pueden guiarse sin la intervención humana

gracias al despliegue de redes de comunicaciones de alta velocidad, baja latencia y grandes capacidades de transmisión de datos, que permiten la interacción de millones de automóviles al mismo tiempo (Unión Europea, 2020e; Unión Europea, 2017).

La iniciativa del TEN-T y del STI se encuentra actualmente en desarrollo. Aunque ya existen evidencias de su contribución a la reducción de la huella de carbono y la congestión en las

carreteras en casos específicos, se espera que el impacto en estos dos ámbitos se generalice y sean aún mayores a medida que haya una incorporación masiva de las tecnologías digitales y estas sean utilizadas por los diferentes actores que usan los corredores logísticos (Comisión Europea, 2018). También se espera que la digitalización traiga mejoras en la seguridad vial con la incorporación progresiva de servicios y aplicaciones que se están desarrollando para el reporte de incidentes en las carreteras (Comisión Europea, 2018).

Resumen de los principales hallazgos de las experiencias internacionales

Las experiencias presentadas en el apartado anterior han proporcionado un conjunto de hallazgos, en cuanto a sus impactos y las barreras encontradas, que se resumen en el Cuadro A.3 2.

En general, se encuentra que todas las experiencias internacionales estudiadas son aplicables en el caso de América Latina.

Cuadro A.3 2 — Resumen de los principales hallazgos de las experiencias internacionales analizadas

Experiencia	Problema	Solución	Impacto	Barreras	Eslabón de la cadena de valor
Alemania Digitalización del puerto de Hamburgo	Necesidad de realizar una mejor gestión del tráfico en las carreteras, el ferrocarril y el puerto	<ul style="list-style-type: none"> – Medición y control de las operaciones e infraestructuras portuarias mediante una explotación mejorada de los datos – Implementación del concepto de puerto inteligente, a través de dos proyectos smartPORT Logistics (SPL) y smartPORT Energy 	<ul style="list-style-type: none"> – Integración de centros de control del tráfico (terrestre, marítimo y ferroviario) en un centro único de tráfico del puerto, que permite la toma de decisiones y la interacción continua con los actores que participan en las actividades de transporte – Encaminamiento de los flujos de tráfico (fluvial y vial) según la situación de congestión en el puerto mediante sensores y actuadores (IdC) ubicados en la infraestructura portuaria 	<ul style="list-style-type: none"> – Interacción continua entre los diferentes actores que participan en las actividades de transporte 	<ul style="list-style-type: none"> – Recepción de cargas y mercancías – Almacenamiento de cargas y mercancías – Transporte y distribución de cargas y mercancías
India Aplicación del IdC, el <i>big data</i> y la analítica de datos para optimizar la entrega de mercancías de DHL en India	El crecimiento exponencial del comercio electrónico derivó en la necesidad de reducir los costos logísticos de la entrega	<ul style="list-style-type: none"> – Solución SmartTruck, que combina el IdC con <i>big data</i> y la analítica de datos para optimizar la operación de entrega del “último kilómetro” 	<ul style="list-style-type: none"> – Utilización del IdC, el <i>big data</i> y la analítica de datos para optimizar la operación del “último kilómetro” – Camiones equipados con sensores para el monitoreo de las condiciones del vehículo y la mercancía mediante GPS, dispositivos de telecomunicaciones para enviar y recibir datos y una pantalla para mostrar información relevante al conductor – Generación de rutas óptimas y dinámicas de entrega y recogida de mercancía; predicciones sobre las necesidades de mantenimiento de los camiones; y seguimiento del comportamiento de los conductores – Entrega a tiempo en un 95 % – Seguimiento de la mercancía 100 % en línea y en tiempo real – Reducción del tiempo de recorrido de hasta el 50 % 	<ul style="list-style-type: none"> – Integración de diferentes tecnologías 	<ul style="list-style-type: none"> – Transporte y distribución de cargas y mercancías

(continúa)

Experiencia	Problema	Solución	Impacto	Barreras	Eslabón de la cadena de valor
Corea del Sur Digitalización de las aduanas	Necesidad de contar con un sistema de aduanas eficiente	<ul style="list-style-type: none"> - Simplificación de los procedimientos de autorización aduanera mediante un sistema web 100 % electrónico 	<ul style="list-style-type: none"> - Sistemas de despacho de exportación, importación y gestión de carga comercial basados en internet - Compartición en tiempo real de la información sobre el manejo de la carga con las empresas de logística - Reducción del tiempo y el costo de procesamiento para facilitar el comercio y la seguridad de la carga - Seguimiento de la carga desde su llegada hasta su liberación; presentación de la declaración de aduanas en cualquier momento y lugar; e intercambio de información por los miembros de la cadena de suministro global - Ahorros a los usuarios en términos de logística, almacenamiento de carga, gastos de personal e infraestructura 	<ul style="list-style-type: none"> - Interacción continua entre los diferentes actores que participan en las actividades de transporte - Vinculación electrónica de partes interesadas 	<ul style="list-style-type: none"> - Recepción de cargas y mercancías - Almacenamiento de cargas y mercancías - Transporte y distribución de cargas y mercancías
Panamá Digitalización de la gestión y operación del canal de Panamá y aplicación del IdC	Necesidad de operar el canal de Panamá de la forma más eficiente posible	<ul style="list-style-type: none"> - Monitoreo, control y despacho de los barcos mediante un sistema electrónico de visualización e información de la navegación 	<ul style="list-style-type: none"> - Uso del IdC con el fin de i) monitorear los niveles de agua, las plantas hidroeléctricas y las estaciones de bombeo; ii) monitorear y controlar el despacho de los barcos; iii) controlar la seguridad del canal; y iv) controlar el despacho del ferrocarril intermodal del canal - Utilización del sistema electrónico de visualización e información de navegación marítima (ECDIS) para el monitoreo, control y despacho de los barcos 	<ul style="list-style-type: none"> - Integración de tecnologías legadas con tecnologías orientadas a la recolección de datos que monitorean y controlan cada aspecto de la operación del canal 	<ul style="list-style-type: none"> - Recepción de cargas y mercancías - Almacenamiento de cargas y mercancías - Transporte y distribución de cargas y mercancías
Unión Europea Corredores logísticos de la Red Transeuropea de Transporte (TEN-T)	<p>Realizar el transporte de ciudadanos y mercancías de manera eficiente</p> <p>Reducir en un 60 % las emisiones de CO₂ del sector de transporte</p> <p>Unir los sistemas de transporte de las zonas orientales y occidentales de la Unión Europea</p> <p>Reducir la dependencia del petróleo</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Desarrollo y modernización de la infraestructura de la TEN-T - Expedición de la normatividad para la gobernanza de corredores logísticos - Definición del marco normativo para la implantación de sistemas de transporte inteligentes (STI) 	<ul style="list-style-type: none"> - Disminución de la congestión en las carreteras - Mayor seguridad vial mediante la incorporación de servicios y aplicaciones para el reporte de emergencias - Integración de diferentes modos de transporte 	<ul style="list-style-type: none"> - Coordinación entre actores y países con diferentes intereses en los corredores logísticos - Desarrollo de estándares y especificaciones que garanticen la interoperabilidad y continuidad de los servicios a nivel europeo - Definición de un sistema de información para el almacenamiento y la gestión unificada de datos técnicos, geográficos y financieros 	<ul style="list-style-type: none"> - Recepción de cargas y mercancías - Almacenamiento de cargas y mercancías - Transporte y distribución de cargas y mercancías

Beneficios incrementales del componente de digitalización

A continuación, se exponen los principales beneficios económicos que genera la digitalización en el sector de la logística.

Ahorros en los costos de transporte

La digitalización de las cadenas de suministro permite optimizar constantemente las rutas y los modos de transporte de las materias primas y los productos terminados. El manejo en tiempo real de información digitalizada sobre fletes, capacidad y tiempos de viaje en cada una de las posibles rutas, modos y puntos de transferencia para transportar determinado producto entre un origen y un destino permite fundamentar las decisiones en algoritmos. Un sistema de monitoreo del estatus de todos los flujos de carga que se movilizan en el corredor y en los nodos de intercambio modal permite coordinar y optimizar las operaciones en cada eslabón.

Las cadenas digitales de suministro, además, facilitan el desarrollo de relaciones contractuales basadas en registros digitales, lo que permite compartir infraestructura y equipos

de transporte con una variedad de operadores logísticos, habilitando funciones como la consolidación de la carga y distribución urbana en vehículos con las dimensiones óptimas en función de la demanda (Holmgren, 2018)⁵.

Por otra parte, el despliegue de un sistema electrónico de peajes que reduzca el tiempo de tránsito de los camiones de carga en los puntos de cobro puede disminuir considerablemente los tiempos totales de viaje y, con ello, aumentar la eficiencia en el uso del capital.

Finalmente, las mejoras asociadas con la digitalización en el manejo de las bodegas y la programación de la carga y los itinerarios se pueden traducir en menores tiempos muertos para los camiones (lucro cesante), tanto en la asignación de carga como en los procesos de carga y descarga.

Ahorros en el almacenamiento

Con la digitalización de las cadenas de suministro, se almacena y procesa información en tiempo real del estado de la carga, lo que permite emprender acciones que reduzcan el grado de incertidumbre sobre los tiempos de entrega de la materia prima y del producto final. En efecto, la digitalización habilita alternativas para el movimiento de la carga, que permiten gestionar eventuales contingencias que afecten los procesos de abastecimiento y distribución. Los responsables de la logística en las empresas pueden reaccionar permanentemente ante reducciones o acumulaciones excesivas del inventario.

La incertidumbre, por su parte, es una de las variables consideradas en la optimización del volumen de los inventarios. El inventario debe ser suficiente para cubrir eventos aleatorios

de interrupción en la cadena de suministro, de forma que se eviten los costos de parar la producción o dejar de honrar los contratos de entrega de productos finales. Por ello, si se reduce el grado de incertidumbre, es posible operar con niveles menores de inventarios.

Otro factor con incidencia en el nivel de inventarios inducido por la digitalización es la mejor previsión de la demanda. La analítica de datos, el *big data*, el aprendizaje automático y la AI permiten identificar patrones de consumo, con lo cual es posible anticipar los volúmenes de demanda de un ítem específico en determinada localidad. Esta información hace posible, a su vez, optimizar la programación del abastecimiento, la producción y distribución de mercancías, lo que puede redundar en un menor nivel de inventarios.

⁵ El estudio de Holmgren reporta, por ejemplo, los resultados de un piloto en el que tres grandes operadores debían separar carga en un terminal. Se recogió información del origen-destino de la carga, los tiempos en la bodega, los tiempos de espera, carga y descarga, el tipo de vehículo, el número de paradas, la carga (t) y la hora del día. En el estudio se obtuvieron los siguientes resultados: reducción en el número de vehículos, entre 20 % y 30 %; incremento en la utilización del vehículo, 47 %; reducción en el tiempo de respuestas para entregas, 54 %; reducción en la distancia manejada, 50 %; reducción en el número de paradas (43 %).

La digitalización, además, facilita los contratos para compartir infraestructura de almacenamiento con firmas aliadas e incluso competidores. Compartir capacidad de almacenamiento requiere el intercambio de información digital entre organizaciones,

considerando la interconectividad en las diferentes capas de gobierno, los procesos y la gestión administrativa (Kayikci, 2018). La compartición permite elevar los índices de utilización de capacidad en las bodegas y con ello diluir los costos fijos.

Menor incertidumbre en los tiempos de entrega

El monitoreo permanente de la localización y el estado de la carga permite anticipar eventuales cuellos de botella y tomar decisiones que minimicen los retrasos en las cadenas de suministro. Con la gestión de cadenas digitales de suministro, se reduce por tanto la variabilidad en los tiempos de recepción de las materias primas y en los despachos de productos terminados.

Además, como se mencionó anteriormente, las herramientas de analítica de datos habilitadas por la digitalización de las cadenas de suministro permiten mejorar las predicciones de demanda y, con ello, anticipar las necesidades de inventario en los puntos cercanos a los clientes, lo que reduce los tiempos de espera.

Reducción de las pérdidas de mercancía (daños)

Algunos sensores cuentan con dispositivos capaces de reportar condiciones que afecten la integridad del producto, como la temperatura, la humedad, los impactos, etc. Cuando la infraestructura digital en las cadenas logísticas captura, almacena y procesa la información transmitida por estos sensores, es posible monitorear en tiempo real el estatus de

las mercancías y asignar las responsabilidades de eventuales deterioros entre los agentes de la cadena. La información, además, permite establecer las causas de los deterioros y hacer las correcciones necesarias, con lo cual, a futuro, los índices de mercancía desechada o no aceptada disminuyen.

Ahorros en el manejo interno de los productos

La robótica, integrada a la capacidad de procesamiento de información, arroja enormes ganancias de eficiencia en el manejo de las bodegas y terminales de transferencia de carga entre modos. El flujo de información de compras, ventas y disponibilidad de medios de transporte y espacio de almacenamiento permite optimizar la programación de despachos, recepciones y la ubicación de cada lote de productos (paletas, contenedores, tanques, etc.) en los patios y las bodegas. Los equipos autónomos, alimentados con

este flujo de información, facilitan la gestión de las bodegas y las operaciones de carga y descarga con mayor eficiencia y minimizan los requerimientos de recursos humanos. Con la expansión del comercio electrónico, aumenta exponencialmente el número de envíos y las exigencias en organización y gestión logística para manejar las ventas en un espectro enorme de productos y localizaciones geográficas. Se estima que el comercio electrónico genera 85 millones de envíos en un solo día (WEF, 2016b)⁶.

Conectividad global para organizaciones de gran tamaño (productor-minorista)

Las grandes organizaciones ya han desplegado sus cadenas digitales de suministro. Estas cadenas les permiten, mediante contratos de uso compartido de infraestructura y equipos

de transporte y almacenamiento, llevar sus productos a cualquier localización en el mundo y organizar el suministro considerando las ventajas competitivas de cada región. Como

⁶ La digitalización está pasando de ser un motor de eficiencia marginal a un habilitador de innovación y disrupción. El comercio electrónico permite que la gente compare ofertas a nivel global (con un movimiento de ratón). En el documento del WEF, se proyectaba que el comercio entre empresas y consumidores (B2C, por sus siglas en inglés) pasaría del 29 % al 36 % entre 2013 y 2018.

se ha dicho, la digitalización facilita el monitoreo, ejecución, facturación y pagos de un gran número de contratos con transportadores, bodegas y minoristas a nivel global, que enfrentarían costos de transacción impensables con los métodos tradicionales. De hecho, se argumenta que hoy en día la competencia entre grandes organizaciones se da, sobre todo, en el plano de las cadenas de suministro (Büyüközkan y Göcer, 2018)⁷.

Acceso a mercados globales para firmas medianas y pequeñas

Las plataformas globales de envíos o transacciones se apoyan en tecnologías 4.0 (IdC, *big data*, analítica de datos, AI, *blockchain*) para optimizar los procesos en las cadenas de suministro: producción, distribución y ventas. De esta forma, la parte inicial (*upstream*) y final (*downstream*) de la cadena se conectan en tiempo real, se reducen costos de distribución y se logran eficiencias. Estas plataformas permiten ampliar el mercado objetivo de empresas medianas y pequeñas y reducir el tamaño de sus estructuras en las áreas de logística y mercadeo. En particular estas plataformas:

- Conectan vendedores individuales con millones de compradores potenciales.
- Despliegan todos los servicios logísticos.

Descongestión vehicular en las áreas urbanas

La introducción de drones⁸, robots e impresoras 3D está revolucionando la forma de distribuir los paquetes en “el último kilómetro”. Con estas tecnologías se evitan una serie de viajes asociados con la distribución de mercancías en áreas urbanas⁹ que, en algunas ciudades, contribuyen en forma significativa a la congestión vehicular, entre otras razones, por los tiempos detenidos para la carga y descarga de mercancías.

Bajo este enfoque, se puede decir que las cadenas digitales de suministro amplían la cobertura geográfica del mercado de las grandes organizaciones, en el sentido de que pueden penetrar en mercados que, con tecnologías tradicionales, estaban fuera de su alcance.

- Ofrecen funciones para gestionar la documentación aduanera.
- Pagan impuestos y derechos aduaneros.
- Rastread la localización del producto desde su envío hasta su recepción.
- Consolidan la demanda para conformar lotes del tamaño necesario para agotar economías de escala en transporte.
- Optimizan las rutas, modos de transporte y la utilización de las bodegas.
- Ofrecen plataformas de pago y soportes de facturación.

La digitalización de la logística también introduce mejoras en los sistemas urbanos de abastecimiento, con bodegas descentralizadas en los accesos a las ciudades que permiten consolidar y separar la carga. Estas instalaciones evitan que los camiones de carga pesada ingresen a las mallas urbanas y aumenten la congestión. El uso de esas instalaciones se puede optimizar con la infraestructura y equipos que apoyan las cadenas digitales de suministro¹⁰.

7. Por ejemplo, en la fabricación del iPad, los semiconductores proceden de tres países; el ensamblaje se realiza en uno diferente; las pantallas vienen de otro y el diseño se hace en Estados Unidos.

8. De acuerdo con el Foro Económico Mundial (WEF, por sus siglas en inglés), el costo de los drones se ha reducido sustancialmente. Con lo que se compraba un dron en 2007, hoy se pueden adquirir 150.

9. Distribución asociada con el consumidor (minorista, reparto de comida, paquetes, etc.) y con el productor (material de construcción, recolección y disposición de residuos, transporte de insumos).

10. Se prevé, por ejemplo, que, en el futuro, convoyes de camiones autónomos atiendan los corredores de mayor movimiento de carga, con un impacto positivo en los costos de operación, contaminación y siniestralidad.

Transparencia en la ejecución de contratos

La digitalización facilita la celebración de contratos, porque permite monitorear los flujos y asignar responsabilidades en las cadenas logísticas. En estas cadenas, el estatus y desempeño en cada eslabón dependen del comportamiento en los eslabones anteriores. En ausencia de transparencia, es difícil distribuir las responsabilidades entre diferentes actores porque la información no permite establecer claramente el nodo o arco donde se interrumpió la cadena. Con tecnologías como el *blockchain* es posible pactar contratos donde la responsabilidad se asigne directamente a cada eslabón en función de su capacidad de gestionar los riesgos. Bajo este entramado contractual, cada compañía involucrada en la cadena de suministro actúa de forma transparente, porque las consecuencias de sus acciones son visibles y los costos que llegasen a ocasionar eventuales incumplimientos deben ser asumidos por el responsable.

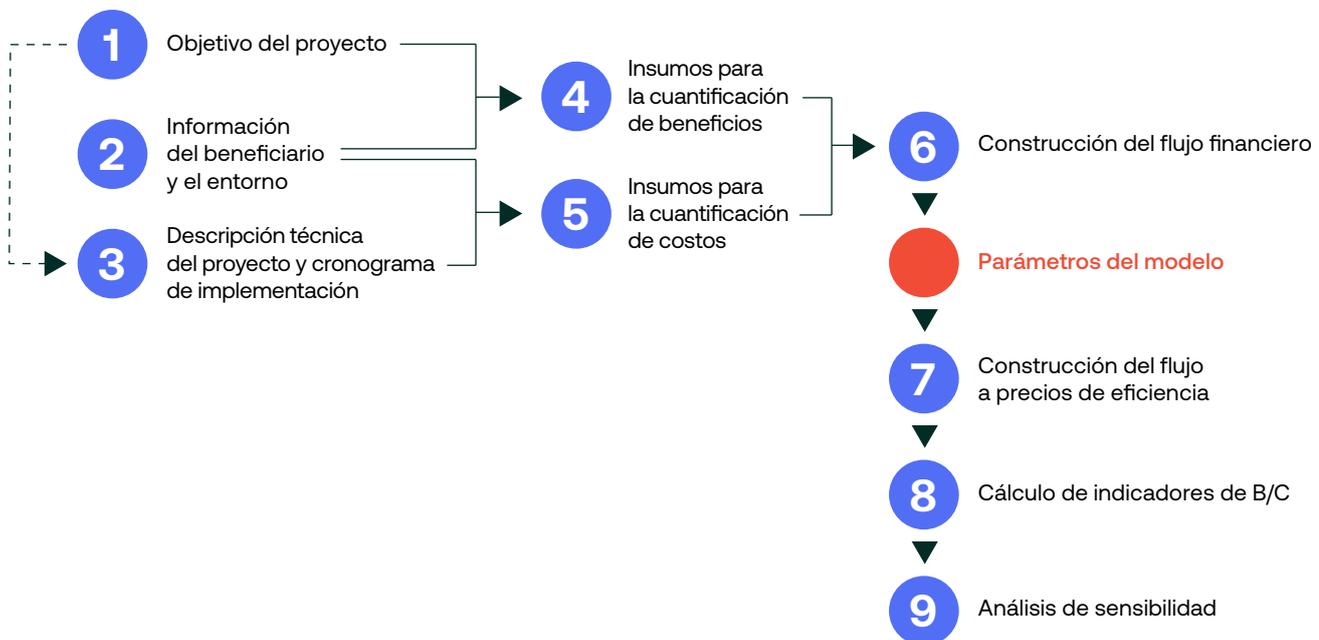
Por otra parte, con estas tecnologías es posible programar una secuencia de reacciones ante cada escenario potencial (que hacer si ...). Esto evita interrupciones y permite que el sistema se adapte a condiciones cambiantes. La digitalización, por su parte, permite generar, procesar y almacenar toda la información relativa a las transacciones físicas y financieras que se desarrollan a lo largo de la cadena de suministro, lo que reduce los costos de administración y ejecución de los contratos.

Formulación y evaluación técnico-económica de proyectos de digitalización del sector logístico paso a paso

En esta sección de la Guía se describen las distintas etapas que se deben cubrir para formular y evaluar los proyectos de digitalización en el sector de la logística. Como se ilustra en la Figura A.3 5, los primeros pasos están dirigidos a definir el objetivo, los actores involucrados y el entorno del proyecto. En función de los objetivos, en el tercer paso se selecciona la alternativa tecnológica apropiada y se dimensionan los equipos a partir de la proyección de la demanda. En los pasos 4 y 5 se compila la información necesaria para estimar los beneficios y costos del proyecto. En el paso 6 se construye el flujo financiero

del proyecto de digitalización, el cual se traduce a precios de eficiencia en el paso 7, para considerar el valor económico de los beneficios generados y los recursos invertidos. En el paso 8 se estiman los indicadores beneficio-costos (B/C), que permiten determinar la conveniencia de llevar a cabo el proyecto de digitalización desde una perspectiva económica. Finalmente, en la última etapa se sugiere la metodología para llevar a cabo un análisis de sensibilidad que determine qué tan robustos son los resultados a los diferentes supuestos sobre los cuales se estructura el ejercicio de evaluación.

Figura A.3 5 — Estructura de la guía para formular y evaluar proyectos de digitalización en el sector logístico paso a paso



Objetivo del proyecto

El primer paso consiste en establecer los objetivos del proyecto. El formulador se debe preguntar cuáles son las necesidades específicas del sistema logístico que busca resolver con el proyecto de digitalización. Este puede estar dirigido a alcanzar uno o varios de los siguientes objetivos:

- Reducir los costos de transporte.
- Reducir los costos de almacenamiento.
- Reducir los tiempos de entrega de los insumos y productos.
- Reducir los índices de deterioro de mercancías.
- Reducir la variabilidad en tiempos de entrega.
- Ampliar el alcance geográfico del mercado.
- Facilitar el monitoreo y cumplimiento de los contratos a lo largo de la cadena de suministro.
- Optimizar el sistema de entrega en el último kilómetro.
- Reducir la congestión en áreas urbanas.

Estos objetivos se pueden alcanzar con estrategias como la digitalización de los corredores logísticos o el uso de plataformas logísticas para compartir infraestructura de almacenamiento y flotas de carga. Otras soluciones posibles son utilizar inteligencia artificial para anticipar los pedidos, digitalizar los trámites del comercio, promover el uso de plataformas digitales de transacciones, utilizar tecnologías

como el *blockchain* para monitorear el cumplimiento de los contratos a lo largo de la cadena de suministro, emplear robots para la gestión de bodegas, la carga y descarga y las entregas al usuario final.

Los objetivos del proyecto se deben enmarcar en las políticas y programas de largo plazo trazadas a nivel nacional, regional o local para el sector. Los objetivos deben ser claros en términos del impacto del proyecto sobre los indicadores más relevantes. Idealmente, el impacto sobre estos indicadores debe ser cuantificable.

Las siguientes preguntas pueden ayudar a definir y precisar los objetivos del proyecto

- ¿Cuál es o cuáles son los problemas que busca resolver el proyecto? Pueden ser, por ejemplo, los altos costos de transporte o almacenamiento, los elevados índices de deterioro y devolución de mercancías, los altos índices de incumplimiento en los tiempos de entrega, los altos costos de transacción por contratos incompletos, los problemas de congestión urbana con los esquemas de distribución de mercancías.
- ¿Se han analizado escenarios con diferentes alternativas para solucionar los problemas detectados? Por ejemplo, no hacer nada, ampliar la flota de transporte o la capacidad propia de almacenamiento, desplegar sucursales propias para atender la expansión geográfica del mercado.
- ¿Cuál ha sido el resultado de estos análisis?

Descripción del promotor del proyecto y su entorno

El proyecto se debe enmarcar en su entorno, lo que implica describir en su formulación el contexto económico, social e institucional en el que se desenvuelve¹¹. El contexto macro permitirá soportar las proyecciones de demanda que alimentan la evaluación del proyecto. El entorno institucional ayudará a identificar los actores involucrados en el éxito del

proyecto y las debilidades y fortalezas de los responsables de su planeación, diseño, ejecución, operación y seguimiento. El entorno se puede describir con los siguientes elementos:

- Variables socioeconómicas del país, región o ciudad donde se lleva a cabo el proyecto (crecimiento histórico y

¹¹ Este apartado está basado en la guía de evaluación de proyectos de la Unión Europea (Comisión Europea, 2014).

esperado del PIB, población, tasa de inflación, de interés y de cambio, grado de urbanización, etc.). Los indicadores se pueden tomar de agencias especializadas en el monitoreo y proyección de la economía.

- Aspectos políticos, normativos e institucionales que determinan el entorno en que se desarrollará el proyecto¹². En particular se deben responder las siguientes preguntas:
 - ¿Existen leyes o normativas relacionadas con la digitalización de infraestructuras portuarias, viales o ferroviarias? ¿Cuáles?
 - ¿Existe alguna ley o norma sobre las características técnicas y funcionalidades de los equipos digitales, tales como cámaras o sensores en la infraestructura, o de los vehículos?
 - ¿Existe alguna ley o norma que regule las plataformas digitales para ofrecer servicios de movilidad y transferencia de carga?
 - ¿Existe alguna ley o norma que regule la documentación digital para llevar a cabo las operaciones de comercio exterior?
 - ¿Existe alguna ley o norma sobre la administración o gobernanza de los datos generados por los sensores, cámaras y otros dispositivos que producen información sobre movilidad?
 - ¿Existe alguna ley o norma relacionada con la protección de datos personales?
 - ¿Existe alguna ley o norma relacionada con el arrendamiento de redes de terceros para la prestación de servicios de telecomunicaciones?
- Otros indicadores del entorno, como consideraciones ambientales o técnicas que incidan en el desarrollo del proyecto.
- Actitud de la población general y los usuarios ante el servicio y sus posibles soluciones. En particular es conveniente contar con un indicador que mida la actitud de los usuarios hacia posibles esquemas de cargos que les afecten (peajes urbanos, cargos de congestión), la regulación de plataformas de servicios de transporte de

carga, la utilización de cámaras y sensores para monitorear la movilidad y seguridad.

De igual forma se debe describir al responsable del proyecto en cada una de sus etapas (planeación, estructuración, diseño, ejecución y operación). Se debe especificar si se trata de una empresa pública, empresa privada, una asociación pública-privada (APP creada por iniciativa pública o privada) o una secretaría de la administración pública del nivel nacional, regional o local.

Desde el punto de vista financiero y de asignación de riesgos, se debe especificar si se trata de una operación soberana, en la cual el repago de la deuda con la banca multilateral está garantizado por el gobierno nacional, o no soberana, en cuyo caso el respaldo de la deuda recae sobre el flujo de caja esperado del proyecto. También hay que establecer si el proyecto cuenta con fuentes de pago propias y qué porcentaje de los ingresos se espera emplear para el cumplimiento de las obligaciones financieras. Se deben especificar las fuentes para cubrir los fondos faltantes, como, por ejemplo, presupuestos de la entidad prestadora del servicio o agencias del ámbito local, regional o nacional.

Es necesario igualmente describir las principales variables operativas, tarifarias y financieras del operador responsable del proyecto:

- Modos de transporte y centros de transferencia involucrados en el proyecto.
- Flujos anuales de carga, en millones de toneladas anuales (mt/año), por tipo.
 - En contenedores (mt/año y TEU/año¹³)
 - Granel sólido.
 - Granel líquido.
 - Perecederos.
 - Carga general.
- Flujos anuales de carga (mt/año) por origen y destino.
- Flujos anuales de carga (mt/año) por modo de transporte.

¹² Ver "Incentivos y barreras de la digitalización" en la sección final de esta guía.

¹³ TEU es la sigla en inglés de la unidad de medida de contenedores, equivalente a 20 pies en el sistema anglosajón (aproximadamente 33 metros cúbicos).

- Flujo de vehículos en los principales corredores (tránsito promedio diario o TPD).
- Requerimiento de almacenamiento o número de patios, bodegas y silos (capacidades en toneladas).
- El vector tarifario del transporte de carga en cada modo.
- Estados financieros del responsable del proyecto.
- Organigrama y planta de la empresa o secretaría, indicando el área responsable del proyecto y los responsables de las etapas del proyecto tercerizadas (planeación,

estructuración, ejecución, operación, seguimiento y regulación de los contratos).

Si la empresa ha acumulado experiencia con proyectos de digitalización, conviene contar con una breve descripción de los factores que han llevado a su éxito o fracaso.

El organismo responsable del proyecto debe ser descrito en cuanto a su capacidad técnica, financiera y administrativa para completar a satisfacción todas las actividades previstas. Eventuales vacíos o debilidades de la empresa para acometer alguno de los hitos del proyecto deben ser cubiertos por firmas especializadas mediante procesos de subcontratación.

Descripción del proyecto

En este paso se establecen con claridad los elementos físicos y actividades que componen el proyecto, el cual debe constituir una unidad autocontenida, con la capacidad de suministrar los bienes y servicios planteados en los objetivos¹⁴.

En la identificación del proyecto se deben definir el área geográfica de cobertura, los beneficiarios y los responsables de cada una de las etapas en el ciclo del proyecto.

Proyección de la demanda

Es preciso describir y caracterizar la demanda relevante en cada uno de los modos (carretero, ferroviario, marítimo, fluvial o aéreo) y los segmentos de la red cubierta por el proyecto: viajes al día, distancias por viaje, número promedio de transferencias, costos de viaje en transporte (tarifa).

La proyección de demanda (viajes y características de estos) se basa en modelos estimativos comúnmente aceptados, que consideran las proyecciones del entorno macroeconómico

y parámetros robustos de elasticidades precios e ingreso. Las proyecciones deben considerar la disponibilidad de infraestructura, la oferta de transporte de carga y la capacidad de almacenamiento en la línea de base y en las cohortes consideradas en el horizonte de proyección. Las proyecciones reportan los volúmenes transportados entre orígenes y destino por modo y los requerimientos de almacenamiento en los respectivos nodos.

Análisis de alternativas

Un proyecto específico es el resultado de un proceso de decisión múltiple en el cual se descarta la opción de no hacer nada, pero también la de no emprender proyectos alternativos. Conviene formular y comparar, con base en ejercicios simplificados de prefactibilidad, diferentes alternativas de formulación del proyecto para alcanzar los objetivos planteados. La comparación de opciones se basa en variables cuantitativas o en métodos multicriterio que involucran, entre

otras, variables de carácter cualitativo definidas en aspectos estratégicos, tecnológicos y geográficos. En la formulación de alternativas es necesario conformar el escenario de “no hacer nada”, que servirá como contrafactual para comparar los costos y beneficios entre la situación con y sin proyecto. El escenario de línea de base contiene los costos en que normalmente incurre el prestador del servicio para mantener las condiciones de la logística bajo los parámetros objetivo.

¹⁴ El análisis beneficio-costos requiere que el proyecto pueda proporcionar los productos esperados sin depender de la realización de otras acciones. En otras palabras, proyectos complementarios requeridos para lograr los objetivos del proyecto se deberían englobar en un solo proyecto para su evaluación.

Idealmente, los proyectos se deben concebir como la solución a un problema específico (por ejemplo, altos costos de transporte o almacenamiento que minan la competitividad del producto, costos elevados de transacción en el monitoreo de contratos, esquemas ineficientes de distribución de mercancías en áreas urbanas). Es decir, es necesario definir cuál es el problema que se quiere resolver antes de determinar la forma de hacerlo. Una vez identificado el problema, se deben buscar posibles estrategias alternativas para solucionarlo. Cada alternativa constituye, entonces, un proyecto a evaluar. Si se sigue este procedimiento, no solo se asegura que los recursos se orienten a resolver problemas cuya solución es prioritaria, sino que, además, se cerciora de que la solución planteada corresponde a la alternativa más eficiente desde el punto de vista económico.

El valor agregado de los ejercicios de B/C no se limita al cálculo de los indicadores de evaluación. En el ejercicio también se exploran las alternativas para lograr los objetivos planteados, se valoran diferentes dimensiones para los equipos, se estudia la generación de beneficios y su forma de valorarlos, se investiga la oferta de equipos alternativos y los costos asociados. Estos esfuerzos, organizados alrededor de una evaluación B/C, sin duda contribuyen a la especificación del proyecto y permiten fundamentar, sobre bases objetivas, las decisiones sobre la conveniencia de seguir adelante con la iniciativa de inversión.

Diseños técnicos, costos y cronograma de implementación

Este paso considera:

- La localización del proyecto. Esta supone la definición precisa de su ubicación (mapa), la disponibilidad de predios e inmuebles o la descripción de los procesos contractuales administrativos para su adquisición.
- El diseño técnico. Se debe contar con una descripción de los activos que componen el proyecto (equipos, obra civil), la tecnología adoptada, los estándares y sus

La digitalización puede constituir una opción más intensiva en capital para alcanzar las metas de eficiencia. Es conveniente plantear el proyecto alternativo que busca alcanzar estos objetivos a partir de las tecnologías tradicionales, de forma que se cuente con un contrafactual que permita trazar la línea de base del suministro del servicio en un esquema de mantenimiento del *status quo*.

En general, si se sobrestiman los costos en ausencia del proyecto, se estarán imputando beneficios excesivos al proyecto. Es importante que la línea de base refleje la situación sin proyecto, que no necesariamente corresponde a un escenario de inactividad por el responsable de la infraestructura.

Idealmente, se debe estructurar un proyecto con las tecnologías tradicionales y considerar una opción alterna con los componentes de digitalización. De esta forma, la conveniencia de la digitalización se puede analizar como el cambio incremental de beneficios y costos inducidos por estos componentes. En este caso, la evaluación económica se centrará en la comparación de los beneficios y costos incrementales que impone la digitalización al proyecto de infraestructura.

especificaciones, los indicadores del nivel de producción y el alcance del proyecto.

- El plan de producción. Conlleva una descripción de la capacidad de la infraestructura y despliegue de equipos, así como el factor de utilización esperado para cada año en el horizonte de análisis del proyecto.
- El cronograma de ejecución. Este debe aparecer desagregado en las principales actividades de ejecución

Insumos para la cuantificación de costos

En este paso se determinan los insumos para la estimación de los costos de incorporación de las componentes de digitalización del proyecto (costos operativos y de inversión), considerando una arquitectura de capas e indicando la

metodología empleada (cotizaciones, información del estructurador del proyecto, etc.).

Incorporación de los componentes de digitalización

Para describir la incorporación de los elementos de digitalización en los proyectos de infraestructura del sector de la logística, la presente guía sigue una arquitectura compuesta por cinco capas, presentadas en la Figura A.3 6 y descritas a continuación.

Capa de infraestructura

Se sitúa en la parte inferior del modelo e incluye los activos propios del sector logístico. Entre ellos están los puertos y aeropuertos, los corredores logísticos y los activos que componen los diferentes modos de transporte terrestre, ya sean viales o ferroviarios (camiones, trenes y vagones), marítimos (barcos) o aéreos (aviones). A través de estos modos se desarrollan las actividades que permiten los flujos de material e información en la cadena del sector logístico.

Capa de dispositivos

Sobre la capa de infraestructura se puede construir una capa de dispositivos. Estos actúan como sensores y permiten la realización de mediciones del comportamiento de los equipos y las condiciones ambientales o facilitan la trazabilidad de los productos y mercancías. Esta trazabilidad es factible desde el lugar de su producción, a su paso por las diferentes capas de infraestructura, hasta llegar a los clientes finales, mediante tecnologías como el internet de las cosas, los sensores de RFID o el uso extensivo de sistemas de posicionamiento geográfico. Además, existen nuevas generaciones de dispositivos que permiten la automatización de la gestión en bodegas (robots) y la entrega de mercancías (drones). También hay capas de dispositivos que están presentes directamente en la infraestructura. Estos incluyen desde sistemas de control del tráfico con tecnología de comunicaciones dedicadas de corto alcance (DSRC) del tipo V2I y de reconocimiento automático de la matrícula (ANPR) hasta sensores y actuadores (IdC), ubicados en la infraestructura portuaria para la coordinación de los flujos de tráfico fluvial y vial y para medir las condiciones de la infraestructura y los impactos ambientales.

Capa de conectividad

Está conformada por las redes y tecnologías de comunicaciones, principalmente las constituidas por redes inalámbricas (4G, 5G, satélite, LoRA, wifi, etc), que transmiten la información entre las distintas capas que conforman la arquitectura para la digitalización del sector logístico: i) dispositivos; ii) plataformas digitales; y iii) torres de control logístico.

La capa de conectividad permite que los datos sean compartidos con otros dispositivos o con plataformas digitales que añaden una capa de mayor inteligencia al proceso de digitalización de infraestructura logística.

Plataformas digitales

En esta capa se ubican las plataformas transfronterizas, de gestión de la información y las capacidades de entrega ampliadas.

Las plataformas transfronterizas facilitan el comercio de bienes entre países y mejoran la experiencia de los usuarios. Al mismo tiempo, impulsan el comercio electrónico transfronterizo, ayudando a los diferentes grupos de interés a responder rápidamente a las cambiantes demandas de los consumidores, facilitando el intercambio de datos entre los actores que participan en los diferentes eslabones de la cadena de valor para impulsar el comercio y disminuyendo la intermediación, con lo cual se reducen los costos y la complejidad de las transacciones (Accenture, 2020a; 2020b).

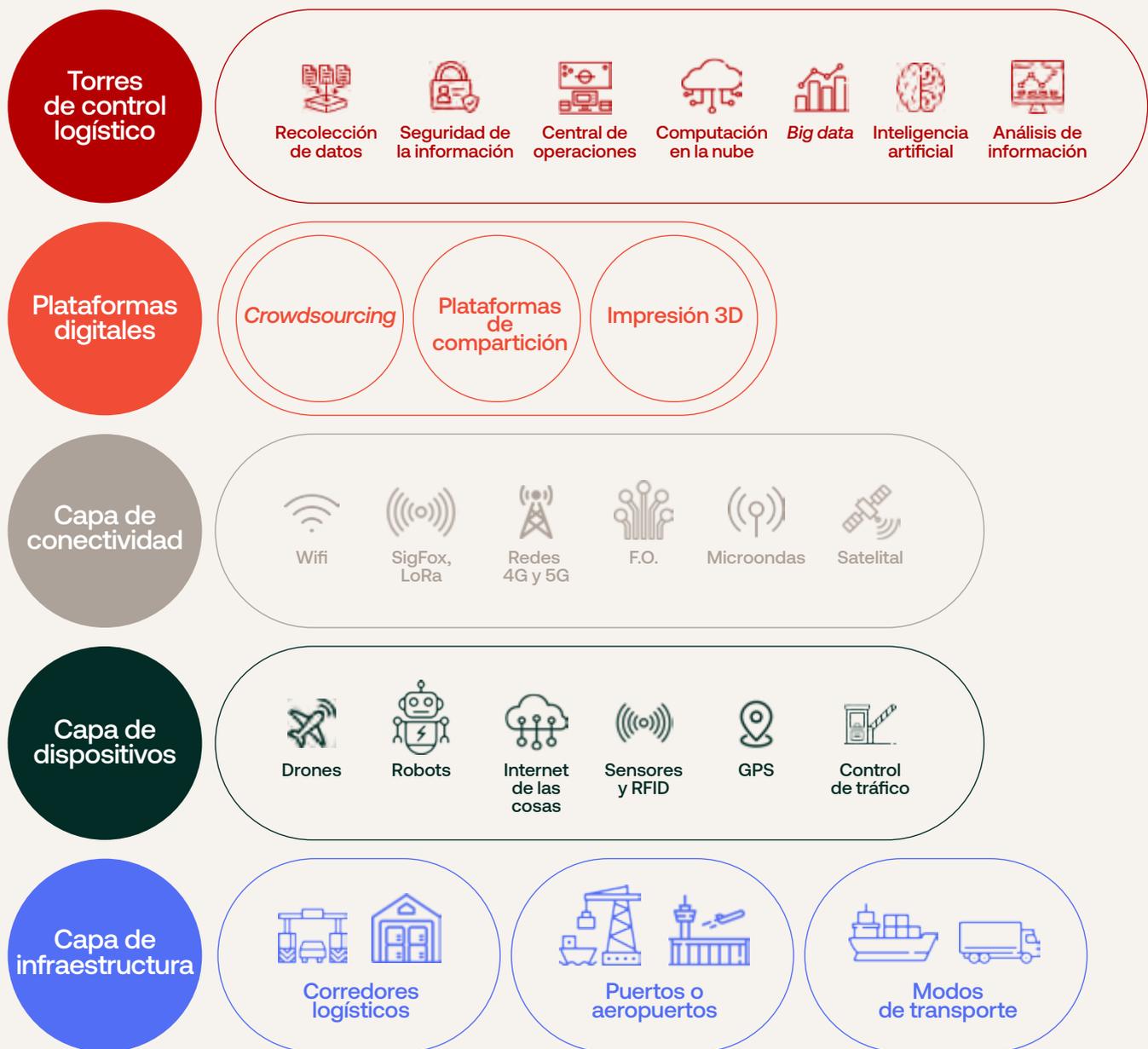
Por su parte, las plataformas de gestión de información se encargan de analizar los datos y convertir estos resultados en un insumo clave para el desarrollo de nuevos mercados y servicios por medio de comunidades en línea, por ejemplo, mediante el *crowdsourcing* o capacidades compartidas de transporte y almacenamiento.

En esta capa también se pueden ubicar la producción descentralizada asociada con las capacidades de entrega ampliadas (impresión 3D).

Torres de control logístico

En una capa superior, se ubican los componentes que integran las torres de control logístico, los cuales permiten el monitoreo continuo y automatizado de los elementos logísticos: infraestructura, activos, contratos y mercancías. En esta capa se puede centralizar la información proveniente de un conjunto heterogéneo de fuentes, recopilada de múltiples tipos de infraestructuras, dispositivos y plataformas digitales. Esta capa implica garantizar la seguridad de la información y realizar funciones avanzadas de tratamiento de los datos, incluyendo centrales de operaciones para el control en línea de activos y mercancías y capacidades avanzadas de analítica, mediante aplicaciones de *big data*, analítica de datos e inteligencia artificial.

Figura A.3 6 — Esquemas y tecnologías digitales aplicados a infraestructuras y activos del sector logístico

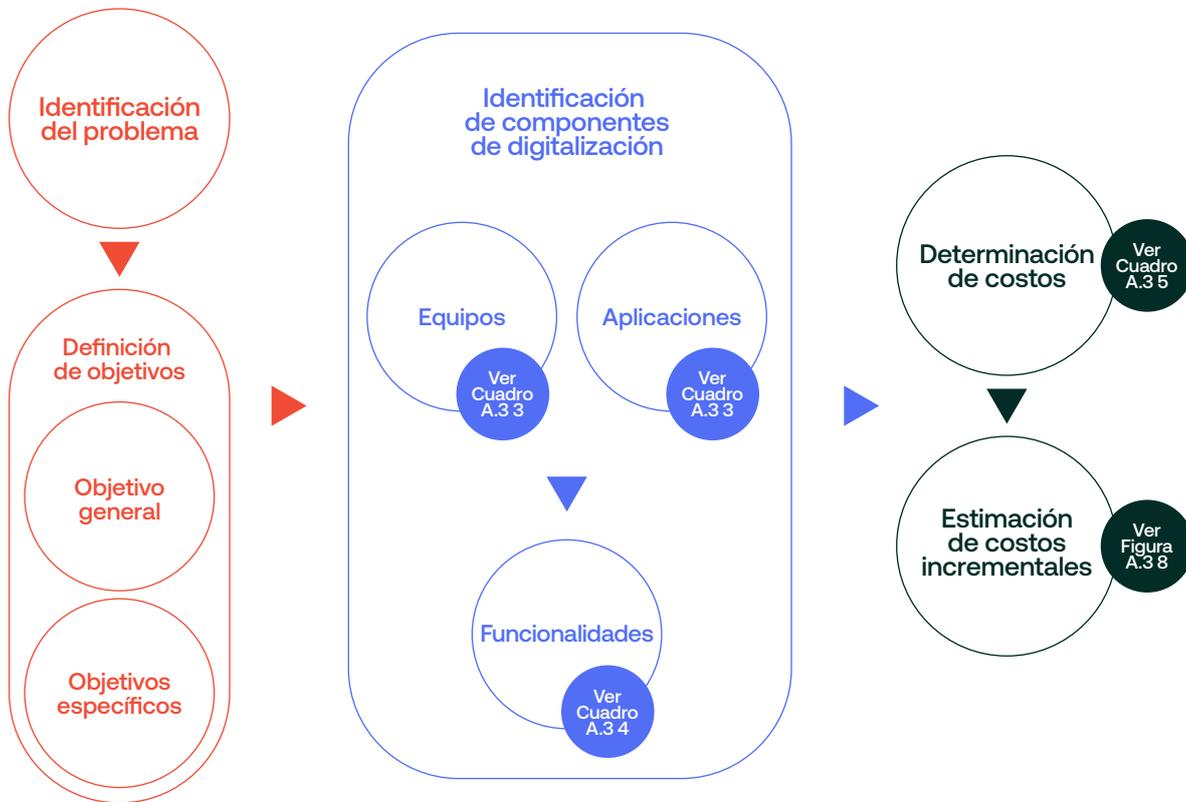


Metodología propuesta para la incorporación de componentes de digitalización

La metodología propuesta para la incorporación de componentes de digitalización en los proyectos de

infraestructura del sector logístico se describe a continuación y se presenta de forma gráfica en la Figura A.3 7.

Figura A.3 7 — Metodología propuesta para la incorporación de componentes de digitalización en los proyectos de infraestructura del sector logístico



En primer lugar, se deben definir tanto la problemática que se busca resolver como el objetivo general y los objetivos específicos que se pretenden alcanzar con el desarrollo e implementación del proyecto.

A partir de estas definiciones, en las etapas de estructuración y diseño del proyecto se deben identificar los componentes de digitalización que contribuirán a solucionar las problemáticas y lograr los objetivos propuestos. Dentro de los componentes de digitalización que se pueden incorporar a los diferentes tipos de proyectos (por ejemplo, para la digitalización de puertos o aeropuertos, de corredores logísticos y para el despacho al cliente final), se encuentran los siguientes:

- 1 Digitalización de corredores logísticos**, consistente en incorporar diferentes dispositivos electrónicos para aumentar la eficiencia del transporte de mercancías y personas y de los puntos de intercambio intermodal, disminuir la congestión en las carreteras, mejorar la seguridad vial, así como para monitorear y realizar el seguimiento tanto de los vehículos como de las mercancías.
- 2 Digitalización de las aduanas**, orientados a simplificar los procedimientos aduaneros para la legalización de las mercancías mediante el desarrollo de herramientas y aplicaciones que operan, por ejemplo, en internet y la

implementación de dispositivos que facilitan su seguimiento de un extremo a otro de la cadena.

interacción entre los actores que participan en las actividades de transporte.

3 Plataformas digitales, que facilitan la compartición de recursos entre los diferentes actores que participan en distintos eslabones de la cadena de valor del sector logístico a partir del análisis de datos recopilados por diferentes dispositivos electrónicos y aplicaciones en la nube (*cloud computing*), mejorando la eficiencia de los centros de almacenamiento, la gestión de los inventarios y del transporte de las cargas.

6 Plataformas para el comercio y transacciones digitales, que se apoyan en el desarrollo de aplicaciones que promueven el comercio de bienes entre países y facilitan el intercambio de información para responder más rápidamente a las demandas y los requerimientos de los consumidores.

4 Control y trazabilidad de las cargas y mercancías, que, a través de la incorporación de tecnologías como el internet de las cosas, los sensores de RFID o el uso extensivo de sistemas de posicionamiento geográfico, entre otras, ayudan a rastrear los productos y mercancías desde su punto de producción y a su paso por las diferentes capas de infraestructura, hasta llegar a los clientes finales

7 Optimización en la entrega de mercancías, que buscan mejorar la eficiencia de la entrega a los consumidores finales mediante la incorporación, por ejemplo, de aplicaciones, drones o el uso de impresoras 3D.

5 Puertos inteligentes, que tienen como fin aumentar la eficiencia de los procesos que se realizan en los puertos (por ejemplo, la recepción, el almacenamiento, el transporte y la distribución de cargas y mercancías) y mejorar la gestión del tráfico de los diferentes modos de transporte. Estas labores se realizan mediante el desarrollo de aplicaciones y la implementación de dispositivos que generan información útil para que haya una mayor

Una vez identificados los componentes de digitalización que se incorporarán a los proyectos de infraestructura del sector logístico, se deben seleccionar los equipos o aplicaciones requeridas para implementar sus funcionalidades.

En el Cuadro A.3 3 se presentan, para cada componente de digitalización, los equipos y aplicaciones que se pueden necesitar de acuerdo con las funcionalidades que se desean incorporar en los componentes de digitalización. En consecuencia, es importante notar que cada proyecto requerirá especificaciones y diseños técnicos detallados para determinar los equipos y aplicaciones que permitirán la implementación de las funcionalidades que se desean.

Cuadro A.3 3 — Equipos o aplicaciones requeridas para la implementación de componentes de digitalización en los proyectos de infraestructura del sector logístico

Equipo o aplicación	Digitalización de corredores logísticos	Digitalización de aduanas	Plataformas digitales para la compartición de recursos	Control y trazabilidad de las cargas y mercancías	Puertos inteligentes	Plataformas para el comercio y transacciones digitales	Optimización en la entrega de mercancías
Capa de dispositivos							
IdC, identificadores digitales y sensores							
Sensores (en la infraestructura de carreteras, vehiculares, IdC, RFID, GPS y otros)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Dispositivos dedicados de comunicaciones de corto alcance (DSRC)	✓				✓		✓
Reconocimiento automático del número de matrícula (ANPR)	✓				✓		✓
Equipos de control y acceso a los usuarios					✓		

(continúa)

Equipo o aplicación	Digitalización de corredores logísticos	Digitalización de aduanas	Plataformas digitales para la compartición de recursos	Control y trazabilidad de las cargas y mercancías	Puertos inteligentes	Plataformas para el comercio y transacciones digitales	Optimización en la entrega de mercancías
Cámaras de monitoreo	✓		✓		✓		
Dispositivos para el reporte de emergencias	✓				✓		
Robots o drones				✓	✓		✓
Capa de conectividad							
Redes propias							
Estaciones base	T	T	T	T	T	T	T
Fibra óptica	T	T	T	T	T	T	T
Enlaces microondas	T	T	T	T	T	T	T
Enlaces satelitales	T	T	T	T	T	T	T
Otros equipos de comunicaciones	T	T	T	T	T	T	T
Redes de terceros							
Contratación de servicios de telecomunicaciones (voz, datos, canales dedicados u otros)	T	T	T	T	T	T	T
Arrendamiento de infraestructura	T	T	T	T	T	T	T
Plataformas digitales							
Impresoras 3D						P	P
Torres de control logístico							
Equipos de cómputo o computación en la nube (servidores, sistemas de almacenamiento)	P	P	P	P	P	P	P
Software y aplicaciones para el procesamiento de datos e imágenes, control de dispositivos, compartición de la cadena logística, digitalización de aduanas, <i>crowdsourcing</i> , control de impresión 3D y <i>blockchain</i>	P	P	P	P	P	P	P

Notas: En el cuadro se utilizan los siguientes símbolos:

✓ El equipo o la aplicación pueden ser utilizados para implementar el componente de digitalización.

T Se requiere de una red de telecomunicaciones para transportar la información generada en la capa de dispositivos hasta las torres de control logístico donde se encuentran los sistemas de información asociados, el *big data*, la analítica de datos y la inteligencia artificial. Esta red puede ser propia, de terceros o una combinación de ambas.

P Indica que el equipo o la aplicación se requiere para el procesamiento de la información generada por los dispositivos.

El Cuadro A.3 4 presenta una descripción de las funcionalidades de los equipos o aplicaciones de los componentes de digitalización de los proyectos de infraestructura del sector logístico listados en el Cuadro A.3 3.

Cuadro A.3 4 — Funcionalidades de los equipos o aplicaciones requeridas para la implementación de componentes de digitalización en los proyectos de infraestructura del sector logístico

Equipo o aplicación	Funcionalidades
Capa de dispositivos	
Sensores (en la infraestructura de carreteras, vehiculares, IdC, RFID, GPS y otros)	<ul style="list-style-type: none"> – Generación de información para alertar a los conductores sobre el estado de las vías. – Comunicación entre vehículos (V2V) y entre estos y la infraestructura (V2I). – Introducción de funciones de conducción automática. – Control de rutas. – Introducción de peajes electrónicos. – Digitalización de los nodos intermodales. – Generación de alertas para la prevención de siniestros. – Ubicación y monitoreo de los vehículos (trenes, camiones, aviones, barcos, etc.). – Control y trazabilidad de los recursos (vehículos, cargas, mercancías y personas). – Comunicación con sistemas de información geográfica (GIS).
Dispositivos dedicados de comunicaciones (DSRC)	<ul style="list-style-type: none"> – Control y trazabilidad de los recursos (cargas, mercancías y personas). – Introducción de funciones que permitan conocer información relativa a la posición, dirección, velocidad y otros datos de interés de los vehículos. – Seguimiento de la carga a lo largo de la cadena logística. – Digitalización de los nodos intermodales.
Reconocimiento automático del número de matrícula (ANPR)	<ul style="list-style-type: none"> – Identificación de las placas de los vehículos. – Ubicación y monitoreo de camiones. – Control de la llegada y salida de camiones. – Digitalización de los nodos intermodales.
Equipos de control y acceso a los usuarios	<ul style="list-style-type: none"> – Autenticación y control del acceso de personas y vehículos a zonas restringidas.
Cámaras de monitoreo	<ul style="list-style-type: none"> – Prevención y detección de actos criminales asociados con el robo de productos o mercancías en vehículos o lugares de almacenamiento. – Reconocimiento facial y de las matrículas para evitar el acceso a zonas restringidas de personas o vehículos no autorizados.
Robots	<ul style="list-style-type: none"> – Automatización de procesos de la cadena de valor logística. – Automatización de las bodegas. – Automatización de los nodos intermodales.
Drones	<ul style="list-style-type: none"> – Vigilancia de los centros de almacenamiento, nodos intermodales, etc. – Transporte de cargas y mercancías.
Dispositivos para el reporte de emergencia	<ul style="list-style-type: none"> – Reporte de incidentes en corredores logísticos. – Reporte de incidentes en las vías públicas.

(continúa)

Equipo o aplicación

Funcionalidades

Capa de conectividad

Redes propias

Estaciones base	– Redes y protocolos de comunicaciones a través de los cuales se transmite la información que permite la localización de vehículos tripulados y no tripulados, la vigilancia, el control y gestión de las rutas y los servicios de comunicaciones para la operación logística.
Fibra óptica	
Enlaces microondas	
Enlaces satelitales	
Otros equipos de comunicaciones	

Redes de terceros

Contratación de servicios de telecomunicaciones (voz o datos, canales dedicados u otros)	– Servicios contratados de telecomunicaciones para transportar las señales desde los dispositivos de medición y control hasta los centros de operación logísticos y viceversa.
Arrendamiento de infraestructura	– Arrendamiento de infraestructura de terceros para la instalación o despliegue de equipos que transportan las señales desde los dispositivos de medición y control hasta los centros de operación logística y viceversa.

Plataformas digitales

Impresoras 3D	– Equipos y aplicaciones que permiten la impresión de objetos sólidos tridimensionales a partir de planos digitales.
---------------	--

Big data, analítica de datos o crowdsourcing (logística en la nube)

Equipos de cómputo o computación en la nube (servidores, sistemas de almacenamiento)	Equipos de cómputo y aplicaciones que permiten: <ul style="list-style-type: none">– Controlar los dispositivos (sensores, IdC, identificadores digitales, robots, drones, etc.).– Procesar los datos generados por los diferentes dispositivos y sensores con el fin de utilizarlos en la optimización de diferentes procesos.– Tomar decisiones para el control de cargas y mercancías.– Seguir y localizar cargas y mercancías.– Planear de forma dinámica rutas y modos de transporte.– Desarrollar plataformas digitales para la compartición de recursos de la cadena logística, tales como el transporte y el almacenamiento.– Digitalizar procesos aduaneros.– Digitalizar documentos y realizar trámites electrónicos que faciliten el desarrollo del <i>blockchain</i> (elaboración y suscripción de contratos digitales y realización de transacciones electrónicas).– Garantizar la integridad, confidencialidad y disponibilidad de los datos.– Realizar la encriptación y garantizar la privacidad de la información.– Prevenir ataques contra la seguridad e integridad de los sistemas informáticos utilizados para gestionar los procesos que se dan en los diferentes eslabones de la cadena logística.– Efectuar el reconocimiento facial y de matrículas para identificar a personas o vehículos.– Realizar el procesamiento de imágenes para prevenir y evitar el acceso a zonas restringidas.– Prevenir y detectar actos criminales asociados con el robo de productos o mercancías en vehículos o lugares de almacenamiento.– Prevenir y detectar incidentes en las carreteras.
Software y aplicaciones para el procesamiento de datos e imágenes, control de dispositivos, compartición de la cadena logística, digitalización de aduanas, <i>crowdsourcing</i> (logística en la nube), control de impresión 3D y <i>blockchain</i>	

Por último, la incorporación de los componentes digitales en las infraestructuras del sector logístico acarrearán unos costos incrementales, tanto de inversión (CAPEX), asociados con la instalación y puesta en servicio de los equipos y aplicaciones, como de operación (OPEX), relacionados con la operación,

mantenimiento o actualización requeridas para su buen desempeño, como se presenta de forma esquemática en la Figura A.3 8.

Figura A.3 8 — Estimación de los costos incrementales asociados con la incorporación de componentes de digitalización en las infraestructuras del sector logístico

CAPEX Σ



OPEX Σ



Estos costos incrementales de CAPEX y OPEX se evalúan de acuerdo con los componentes de digitalización y las funcionalidades que se implementen en las infraestructuras del sector de la logística. Estos se identifican mediante diseños técnicos y trabajos de ingeniería detallados, que permiten determinar los costos y cronogramas de implementación requeridos para cumplir con los objetivos y las proyecciones de la demanda del proyecto.

Los costos detallados de los equipos o aplicaciones específicos a utilizar en un proyecto dependen de múltiples variables, desde las especificaciones técnicas específicas hasta la selección del fabricante, pasando por factores que influyen los precios, tales como el país donde se implementa y las economías de escala y el alcance del proyecto. Considerando lo anterior, en el Cuadro A.3 5 se presentan los principales determinantes del costo de los diferentes equipos o aplicaciones en cada una de las capas de proyectos en el sector logístico.

Cuadro A.3 5 — Determinantes de los costos (CAPEX y OPEX) para la digitalización de los proyectos de infraestructura del sector logístico

Equipo o aplicación	Determinantes
Capa de dispositivos	
Sensores (V2V, V2I, IdC, DSRC, RFID, GPS y otros)	<ul style="list-style-type: none"> – Carreteras o corredores logísticos donde se implementarán los sistemas V2I – Cantidad de peajes electrónicos o puntos de control en corredores logísticos – Parque vehicular logístico (trenes, camiones, aviones y barcos) – Cantidad de vehículos con funcionalidades de conducción autónoma – Vías donde se implementarán sistemas de conducción autónoma (carreteras, fluviales, ferroviarias) – Cantidad de centros intermodales – Cantidad de bodegas – Capacidad de carga de los puertos fluviales y marítimos y de los centros intermodales – Capacidad de almacenaje de las bodegas – Cantidad de contenedores, paletas o mercancías que incorporan seguimiento de carga – Cantidad de sitios de parqueo de camiones
Reconocimiento automático del número de matrícula (ANPR)	<ul style="list-style-type: none"> – Cantidad de peajes electrónicos o puntos de control en corredores logísticos – Parque automotor logístico – Carreteras donde se implementarán controles de velocidad – Sitios donde se implementarán mecanismos de control de salida y llegada de vehículos (nodos intermodales, centros de almacenamiento, bodegas, otros)
Equipos de control y acceso a los usuarios	<ul style="list-style-type: none"> – Parque vehicular logístico – Cantidad de centros intermodales – Cantidad de bodegas – Cantidad de sitios con acceso restringido (nodos intermodales, centros de almacenamiento y demás puntos de carga y descarga de grandes volúmenes de mercancías, otros) – Cantidad de usuarios con acceso autorizado a nodos intermodales, centros de almacenamiento, bodegas y demás sitios con acceso restringido
Cámaras de monitoreo	<ul style="list-style-type: none"> – Parque vehicular logístico (trenes, camiones, aviones y barcos) – Cantidad de nodos intermodales, centros de almacenamiento, bodegas y demás sitios con acceso restringido – Número de cámaras por nodos, centros o bodegas – Características técnicas de las cámaras de monitoreo
Robots	<ul style="list-style-type: none"> – Cantidad de centros intermodales – Cantidad de bodegas – Cantidad de vehículos logísticos esperados en los centros intermodales y lugares de almacenamiento – Capacidad de almacenaje – Volumen de mercancías que se entrega por día – Nivel o porcentaje de robotización por sitio – Características de los robots
Drones	<ul style="list-style-type: none"> – Cantidad de centros intermodales – Cantidad de bodegas – Capacidad de almacenaje – Volumen de mercancías que se entrega por día – Distancia y peso promedio de las entregas – Características de los drones

(continúa)

Equipo o aplicación Determinantes

Dispositivos para el reporte de emergencia	<ul style="list-style-type: none">– Parque vehicular logístico– Cantidad de centros intermodales– Cantidad de bodegas– Cantidad de puntos de reporte de emergencias que se instalarán sobre las vías
--	---

Sistemas de comunicaciones

Redes propias

Estaciones base	<ul style="list-style-type: none">– Áreas geográficas
Fibra óptica	<ul style="list-style-type: none">– Tecnologías utilizadas
Enlaces microondas	<ul style="list-style-type: none">– Parque vehicular logístico (trenes, camiones, aviones y barcos)
Enlaces satelitales	<ul style="list-style-type: none">– Cantidad de nodos intermodales, centros de almacenamiento y bodegas– Otras locaciones con dispositivos que requieran transmitir información
Otros equipos de comunicaciones	<ul style="list-style-type: none">– Periodicidad de transmisión de la información– Volumen de datos generados por los dispositivos desplegados– Servicios que prestarán a través de las redes desplegadas (voz o datos)– Ancho de banda requerido para la transmisión de servicios de voz y datos– Tráfico máximo de voz y datos que se cursará por la red– Bandas de frecuencia de espectro radioeléctrico utilizadas (libres o licenciadas)– Niveles de calidad y servicios requeridos

Redes de terceros

Contratación de servicios de telecomunicaciones (voz o datos, canales dedicados u otros)	<ul style="list-style-type: none">– Áreas geográficas donde se requerirá la prestación de los servicios– Parque vehicular logístico– Cantidad de centros intermodales– Cantidad de bodegas
Arrendamiento de infraestructura	<ul style="list-style-type: none">– Cantidad de dispositivos que serán conectados a la red– Tráfico máximo de voz y datos que se cursará por la red– Tarifas de servicios de voz y datos– Niveles de calidad y servicios requeridos– Cantidad y elementos de infraestructura que se arrendarán– Tarifas de arrendamiento (torres, espacios físicos, etc.)

Plataformas digitales

Impresoras 3D	<ul style="list-style-type: none">– Puntos de impresión 3D– Cantidad de impresoras 3D por punto de impresión
---------------	---

Big data, analítica de datos o crowdsourcing (logística en la nube)

Equipos de cómputo o computación en la nube (servidores, sistemas de almacenamiento)	<ul style="list-style-type: none">– Parque vehicular logístico– Tipo y número de agentes involucrados en el sistema logístico– Cantidad de centros intermodales– Cantidad de bodegas
Software y aplicaciones para el procesamiento de datos e imágenes, control de dispositivos, compartición de la cadena logística, digitalización de aduanas, <i>crowdsourcing</i> , control de impresión 3D, <i>blockchain</i> y ciberseguridad	<ul style="list-style-type: none">– Cantidad de datos generados– Cantidad de centros de monitoreo y control de operaciones– Velocidad de procesamiento y análisis de la información– Licencias de aplicaciones para el control de dispositivos– Licencias de aplicaciones para el control de robots– Licencias de aplicaciones para el control y programación de drones– Licencias de aplicaciones para la digitalización de trámites aduaneros– Licencias de los controladores de impresión 3D– Desarrollo del <i>blockchain</i>– Cantidad de transacciones– Documentos para la legalización aduanera– Capacidad de los puertos y centros intermodales– Licencias de las aplicaciones– Licencias de aplicaciones de procesamiento (<i>big data</i>, analítica de datos, inteligencia artificial, otras)– Licencia de aplicaciones de ciberseguridad– Cantidad de usuarios con permiso de acceso a lugares restringidos– Licencias para el control de elementos de seguridad

Insumos para la cuantificación de beneficios

En este paso se organiza la información y se cuantifican los beneficios que arroja el proyecto de digitalización de la cadena

logística. Para ello, en función de los objetivos del proyecto, se estiman los beneficios descritos a continuación.

Ahorros en los costos de transporte

Se trata de comparar los costos de transporte de materias primas y productos terminados en las situaciones con y sin proyecto. En primer lugar, se deben caracterizar los costos unitarios de transporte (USD/t) en la línea de base. Para obtener este valor se deben estimar los indicadores pertinentes de tiempos de espera en los procesos de carga y descarga y la asignación del equipo, los tiempos muertos en la gestión documental, las rutas y tarifas empleadas y los costos de operación de su propia flota de transporte.

Posteriormente, se deben estimar, con base en los diseños del proyecto de digitalización, los determinantes de los costos de transporte en la situación con proyecto. También se deben definir los tiempos esperados para la gestión de la carga y su documentación en un mundo digital y con procesos perfectamente sincronizados, las rutas óptimas con sus respectivas tarifas, los requerimientos óptimos de flota y sus costos bajo las nuevas condiciones de operación. Para estimar esta última variable puede ser útil emplear el modelo conocido por las siglas en inglés HDM-4¹⁵, del Banco Mundial, o modelos similares que permitan calcular el CAPEX y el OPEX para una flota que enfrenta menores tiempos de espera y, por lo tanto,

se utiliza con mayor intensidad (km/veh./año) y obtener así una mayor dilución de los costos de capital (t/km)¹⁶. La modelación de costos debe considerar la participación en la carga de cada tipo de camión, la capacidad utilizada de los vehículos (ocupación media, porcentaje de viajes en vacío) y las rutas utilizadas.

Si el proyecto tiene alcance a nivel corredor, región o país, idealmente, se debe construir una línea de base en un modelo de transporte con los volúmenes transportados entre cada par origen-destino y los costos implícitos para cada tramo y agregados para las rutas actuales y la utilización del parque. La utilización del modelo permite sintetizar en un índice los costos unitarios de transporte en la línea de base y en la situación con proyecto. Estos parámetros, aplicados a las proyecciones de carga en cada año en el horizonte de análisis genera una estimación del costo total del transporte con los procesos logísticos tradicionales y con los procesos digitalizados. La diferencia en los costos de transporte equivale al beneficio económico de la digitalización en lo que respecta a costos de transporte.

Ahorros en los costos de almacenamiento

La estimación de los beneficios económicos asociados con el ahorro en costos de almacenamiento inducidos por la digitalización de las cadenas de suministro parte de la estimación de los indicadores de requerimientos y costos de almacenamiento en la línea de base y en el escenario con proyecto (Kayikci, 2018) (ver figura A.3 9).

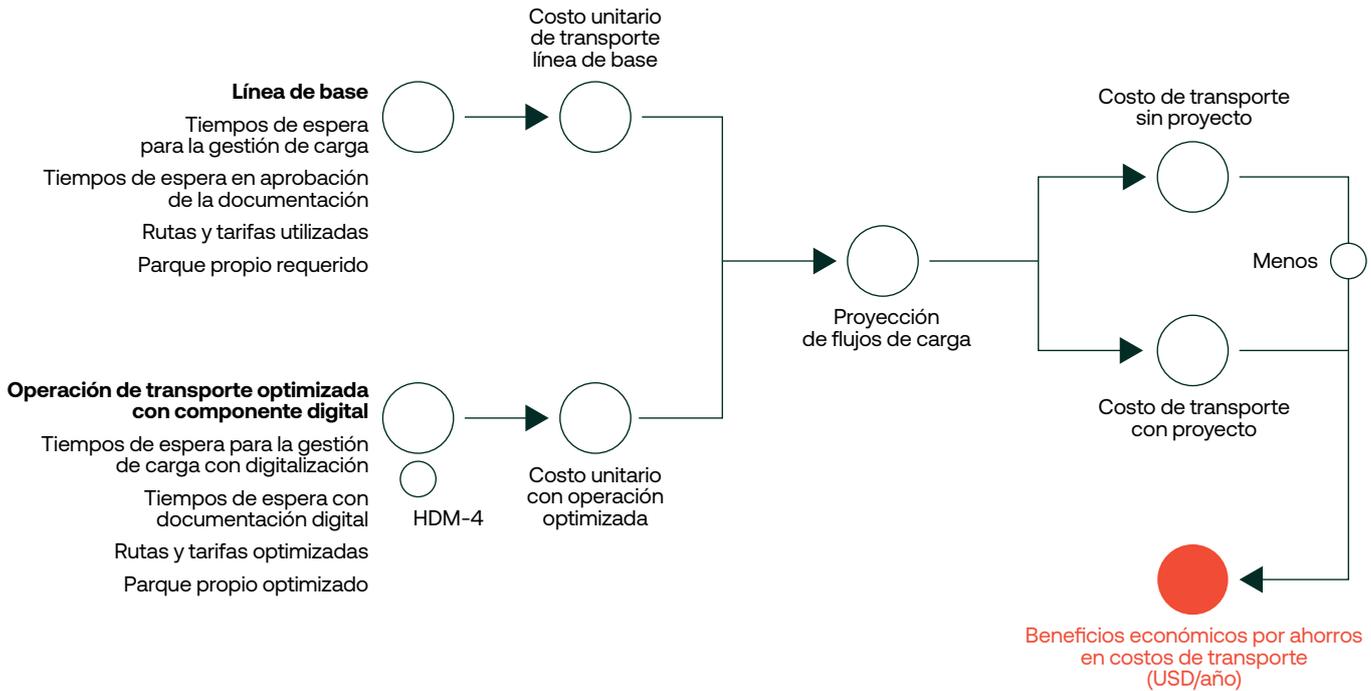
Las necesidades de almacenamiento se pueden medir como el número de días que se precisan para cubrir los requerimientos de producción y entrega de las mercancías (producto o materia prima). La digitalización reduce los requerimientos de almacenamiento porque disminuye los tiempos de transporte, la incertidumbre asociada con el abastecimiento de materias primas y con la mayor capacidad para predecir la demanda.

¹⁵ El Highways Design Model (HDM) es una herramienta computacional diseñada por el Banco Mundial para modelar el comportamiento de los costos de operación de los vehículos ante diferentes especificaciones de las vías: topografía, estado de la capa de rodadura y velocidad de diseño, entre otras. El modelo también predice el estado de las estructuras viales en función del flujo de tráfico que soportan.

¹⁶ El HDM-4 exige la parametrización específica con los costos del país donde se evalúa el proyecto y para cada tipología de vehículos de carga: costo de los camiones, diésel, llantas, lubricantes, mantenimiento, peajes, salario del conductor, otros costos fijos. Además del HDM-4, es necesario considerar la relación entre los fletes del mercado y los costos simulados en cada ruta en función del grado de descompensación en los flujos de carga.

Los costos de mantenimiento, por su parte, se pueden dividir en costos directos de almacenamiento y gastos financieros asociados con la tenencia de inventarios.

Figura A.3 9 — Metodología propuesta para el cálculo de los beneficios económicos por ahorros en costos de transporte



Costos directos en pago de infraestructura de almacenamiento

Si la infraestructura es contratada con terceros, la digitalización se traduce en una reducción en el pago de tarifas de almacenamiento o en las cuotas de arrendamiento, según sea el caso.

Si el almacenamiento lo lleva a cabo la empresa en sus propias bodegas, se debe considerar una reducción en el

costo de capital y en los costos operativos asociados a la infraestructura de almacenamiento.

Cuando se utilizan esquemas de bodegas compartidas mediante plataformas digitales, se eleva el nivel de utilización de la capacidad instalada, con lo cual se diluyen los costos fijos y de capital del almacenamiento.

Costos financieros asociados a los inventarios

Mantener inventarios de materia prima o producto final exige capital de trabajo. El capital de trabajo, por su parte, enfrenta un costo financiero. La reducción de inventarios, entonces, genera un beneficio equivalente a la tasa de interés relevante de quien gestione los inventarios, multiplicada por la reducción

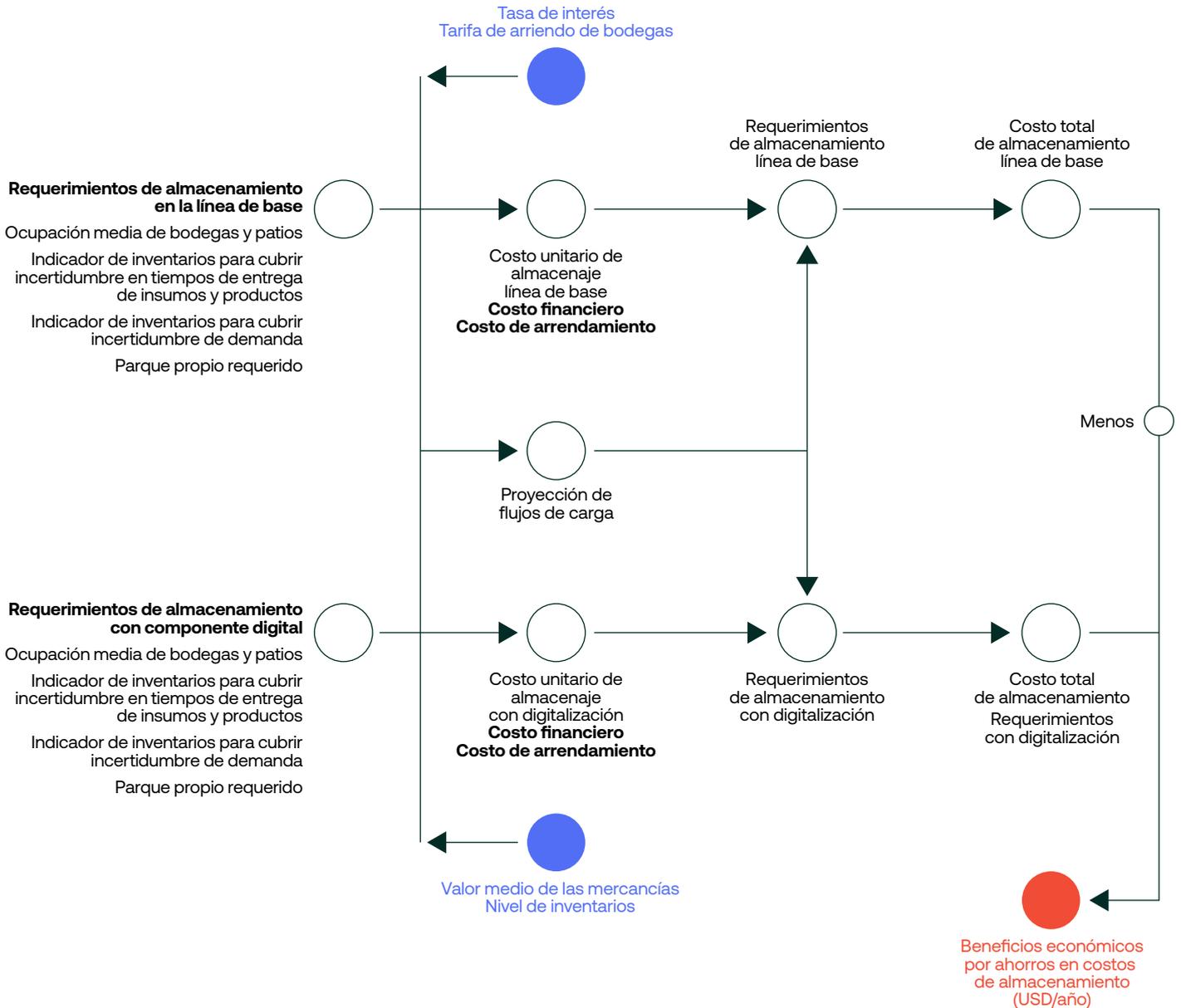
en el valor del inventario. Para su cálculo, es necesario estimar el valor del inventario, su variación atribuible al proyecto y el costo del capital que enfrenta quien realiza el proyecto. Se puede utilizar como *proxy* la tasa del activo preferencial del sistema financiero en el país donde se ejecuta el proyecto. El

valor de los inventarios, por su parte, se puede obtener a partir de un promedio ponderado del valor de los flujos de comercio considerados en el corredor.

Una vez estimados los indicadores de volumen y costos relevantes, se acude a las proyecciones de demanda de carga

para construir los flujos anuales de costos de almacenamiento en las situaciones sin y con proyecto. La diferencia en los flujos constituye el beneficio económico por ahorro en costos de almacenamiento que se debe ingresar en el flujo de análisis beneficio-costos.

Figura A.3 10 — Metodología propuesta para el cálculo de los beneficios económicos por ahorros en costos de almacenamiento

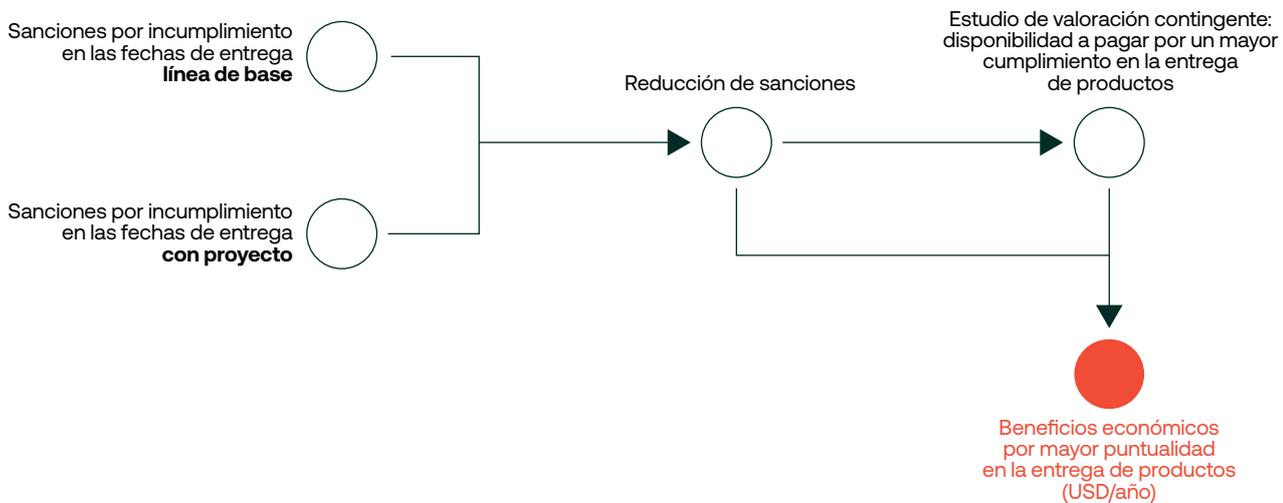


Menor incertidumbre en los tiempos de entrega

Una forma de aproximar metodológicamente los beneficios por reducir la variabilidad en los tiempos de entrega es cuantificar las sanciones evitadas por incumplimiento en las fechas de entrega. Este parámetro se podría obtener de un análisis de mercado entre operadores de carga, quienes cobran una tarifa adicional por anticipar la entrega de los pedidos o mediante el análisis de compensaciones contractuales por el incumplimiento de las fechas pactadas en las relaciones comerciales.

Alternativamente, si se cuenta con recursos para emprender una investigación especializada, se podría plantear una metodología de valoración contingente para, mediante una encuesta, estimar el impacto en la utilidad de los consumidores de las entregas puntuales. Otra opción es calcular la desutilidad que genera recibir con retraso bienes o servicios previamente adquiridos. En este último caso se consultaría a los encuestados su disponibilidad a aceptar diferentes niveles de compensación por sufrir retrasos en la recepción de los productos.

Figura A.3 11 — Metodología propuesta para el cálculo de los beneficios económicos por menor incertidumbre en tiempos de entrega



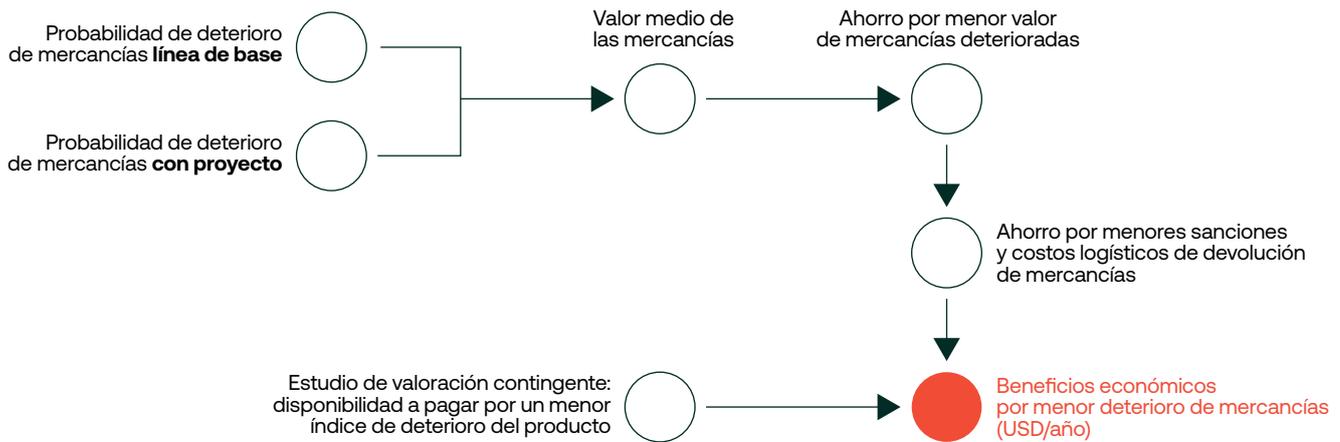
Reducción de las pérdidas de mercancía

Para determinar el valor de la mercancía cuyo deterioro se evita gracias al proyecto es necesario estimar la probabilidad de daño en la situación sin proyecto y con él y calcular la diferencia en probabilidades. Esta diferencia se aplica al valor de la mercancía movilizada en el período de análisis para obtener una estimación del beneficio económico de la digitalización por este concepto.

La estimación anterior se puede considerar como un piso de los beneficios estimados. En la práctica, la devolución de productos defectuosos genera costos adicionales, tales como el transporte y la logística para reponer el producto y

eventuales pagos de sanciones por incumplir con la calidad contratada en la transacción. Existen modelos teóricos con aplicaciones prácticas para medir la relación beneficio-costos a partir de la utilidad que obtienen los agentes en la cadena de suministro por implementar sistemas digitales de monitoreo del producto mediante las tecnologías de código de barras o RFID y otras más avanzadas de sensores inalámbricos (nodos de sensores inalámbricos y artículos inteligentes avanzados). En un estudio de caso para un productor de manzanas, se muestra que migrar a tecnologías avanzadas de monitoreo del producto proporciona ganancias al productor y al transportador (Decker, y otros, 2008).

Figura A.3 12 — Metodología propuesta para el cálculo de los beneficios económicos por menor deterioro de las mercancías



Ahorros en el manejo interno de los productos

Los beneficios asociados con la digitalización y automatización en el manejo de las bodegas y los procesos de carga y descarga se pueden aproximar con el ahorro en el pago de la nómina por reducción de la planta de personal directamente vinculado en dichos procesos.

La automatización de estos procesos genera beneficios adicionales ya descritos en otras secciones de este documento, como la reducción en tiempos de carga y descarga (menores costos de transporte), mayor cumplimiento en las fechas de entrega (menos incertidumbre) y disminución en la necesidad de inventarios (WEF, 2016b)¹⁷.

Conectividad global para organizaciones de gran tamaño (productor-minorista)

Las tecnologías 4.0 en logística se adoptan precisamente porque elevan la eficiencia de las organizaciones en la forma en que se abastecen y distribuyen sus productos. En otras palabras, se trata de transformaciones orientadas por la búsqueda de eficiencia. Mayor eficiencia supone mayor valor agregado, una magnitud que se puede interpretar directamente como beneficio económico.

La ampliación de la demanda, por su parte, permite diluir costos fijos, elevando aún más la generación de valor (Büyükköçkan y Göcer, 2018).

Desde esta perspectiva, para evaluar un proyecto de integración logística en grandes organizaciones es necesario contar con una estimación de los márgenes generados en la línea de base y en la situación con proyecto.

Acceso a mercados globales para firmas medianas y pequeñas

Para aproximarse a un indicador de los beneficios de las plataformas digitales de comercio sería necesario contar

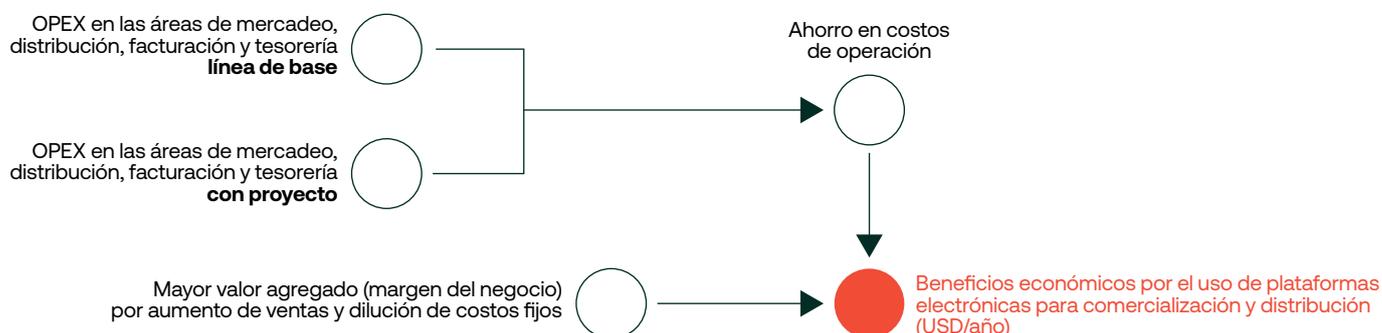
con un indicador de la magnitud de recursos que destinan las empresas pequeñas y medianas para gestionar las áreas

¹⁷ La digitalización está pasando de ser un motor de la ganancia en eficiencia en el margen a un habilitador de innovación y disrupción. El comercio electrónico permite que la gente compare ofertas a nivel global (con un movimiento de ratón). En el documento del WEF se proyectaba que el comercio entre negocios y consumidores (B2C, por sus siglas en inglés) pasaría del 29 % al 36 % entre 2013 y 2018.

de mercadeo, distribución, facturación y tesorería en la situación sin proyecto. Se requiere, además, una estimación de la penetración del comercio electrónico en este segmento del mercado y del ahorro, en términos porcentuales, que les genera los vínculos con ese tipo de plataformas.

Se han formulado modelos microeconómicos, donde las decisiones de inversión en tecnología de cadenas de suministro inteligentes dependen del inverso de los costos de inversión en tecnologías digitales. A medida que el costo de las tecnologías se reduce, se hace más rentable, tanto en términos privados como sociales, invertir en la digitalización de las cadenas de suministro (Li, 2020).

Figura A.3 13 — Metodología propuesta para el cálculo de los beneficios económicos por acceso a mercados globales mediante el uso de las plataformas digitales (empresas pequeñas)



Descongestión vehicular en las áreas urbanas

En el documento principal¹⁸ se explicó cómo se cuantifican los beneficios económicos asociados con la reducción en la congestión. Para el caso del transporte de carga en áreas urbanas, se aplican los mismos conceptos económicos, pero es necesario contar con una estimación de la reducción en el flujo vehicular atribuible a la distribución urbana de cargas y su impacto en la velocidad, considerando, además de la relación capacidad flujo parametrizada para cada ciudad, la incidencia en la velocidad atribuible a los procesos de carga y descarga.

Para ello, se requiere una estimación del flujo vehicular asociado con la distribución urbana de productos y una proyección de la penetración de las tecnologías 4.0

aplicadas a la distribución de envíos. Con estos parámetros es posible modelar la velocidad en las situaciones con y sin proyecto y calcular los tiempos de viaje asociados. El tiempo ahorrado, valorado a su costo de oportunidad, arroja una estimación del beneficio económico de estas tecnologías.

Cuando se trata del despliegue de estas nuevas tecnologías en proyectos de menor escala, cuyo impacto en los niveles de congestión es despreciable, los beneficios se deben estimar a partir de la reducción en los costos de operación de los vehículos y la nómina del personal de la empresa directamente involucrado en la distribución de mercancías (Holmgren, 2018)¹⁹.

18 "Hacia el desarrollo de infraestructuras eficientes y sostenibles en América Latina: oportunidades y beneficios de la digitalización para los sectores de la energía eléctrica, la movilidad y la logística", disponible en la Scioteca de CAF.

19 En este estudio, por ejemplo, se reportan los resultados de un piloto en el que tres grandes operadores debían desconsolidar carga en un terminal. Se recogió información del origen y destino de la carga, los tiempos en bodega, los tiempos de espera y de carga y descarga, el tipo de vehículo, el número de paradas, la carga (t) y la hora del día. En el estudio se obtuvieron los siguientes resultados: reducción en el número de vehículos de entre el 20 % y 30 %; incremento en la utilización del vehículo del 47 %; reducción en el tiempo de respuestas para entregas del 54 %; reducción en la distancia manejada del 50 %; reducción en el número de paradas del 43 %.

Transparencia en la ejecución de contratos

El beneficio por reducir los costos de transacción en la ejecución de contratos es específico a cada cadena en particular y su medición en términos económicos es un reto. Una primera aproximación es revisar, a partir de la ejecución de contratos bajo los arreglos logísticos tradicionales, los costos incurridos en la resolución de conflictos en términos de tribunales de arbitramento, pago en pólizas de cumplimiento y pago de sanciones por incumplimiento de los términos contractuales. Posteriormente, el formulador del proyecto debería determinar cuáles de estos costos se van a reducir y en qué proporción gracias a la celebración de contratos

estructurados sobre los flujos de información que genera la digitalización de la cadena de suministro.

De igual forma, en proyectos orientados a una empresa o grupo de empresas específicas, es posible estimar la cantidad de horas por persona trabajadora destinadas a llevar a cabo labores administrativas relacionadas con la supervisión del cumplimiento de los contratos, la liquidación, la facturación y los pagos. La digitalización de las cadenas logísticas reduce los requerimientos de personal en estos procesos. El ahorro en costos administrativos por este concepto es un beneficio de la digitalización.

Construcción del flujo financiero

En esta etapa se organiza la información de ingresos y costos del proyecto como un flujo de caja financiero esperado del proyecto.

Horizonte de análisis

El análisis se puede llevar a cabo para un horizonte consistente con la vida útil esperada de los activos. Para proyectos de infraestructura es correcto emplear horizontes de entre 20

y 30 años. En proyectos de tecnología se pueden plantear horizontes más cortos, considerando la obsolescencia de los equipos que conlleva el cambio técnico.

Ingresos

Se debe contar con información de la capacidad de producción del proyecto y su grado de utilización para cada año en el horizonte de análisis. En ocasiones, el proyecto es en sí su producción. Por ejemplo, kilómetros de vía, de gasoducto o de redes de transmisión, etc. Esta información la suministra el equipo técnico que realice los estudios de prefactibilidad o factibilidad.

Se debe contar además con una estimación de los precios o tarifas que se cobrarán por unidad comercializada. Se

recomienda mantener el análisis en precios constantes del año en que se realiza la evaluación para no afectar los resultados con los supuestos de inflación hacia el futuro²⁰. La tarifa puede ser cero en proyectos de bienes públicos que no contemplan cargos a los usuarios.

Los ingresos se obtienen como el producto de las unidades transadas por su precio. Para bienes públicos puros, el ingreso esperado puede ser cero.

²⁰ Si quien estructura el proyecto tiene razones fundadas para estimar variaciones en los precios relativos del producto del proyecto en el futuro, es correcto incluir esta variación en términos constantes.

Egresos

Normalmente los flujos de caja financieros agregan los gastos operativos en muy pocos rubros. En los ejercicios de evaluación económica es importante desagregar los costos y gastos de forma que se puedan discriminar cada uno de los principales insumos, la mano de obra y los impuestos (IVA).

De igual forma, los gastos de capital del proyecto se deben desagregar entre los principales materiales, el alquiler de equipos, la mano de obra, los terrenos y otros inmuebles, y los impuestos.

Financiación

El análisis financiero exige estimar los requerimientos de deuda del proyecto. Por lo anterior, se debe considerar la relación deuda-patrimonio con la que se estructura el proyecto y verificar las necesidades de financiación para cubrir los recursos que puedan faltar. Los intereses causados por el endeudamiento se deben incluir como egresos operativos y los excedentes se deben destinar a amortizar la deuda. El

cierre financiero del modelo se logra tras una secuencia de iteraciones, hasta que se cubren los fondos faltantes en cada período y se amortiza la totalidad de la deuda. En proyectos de bienes públicos, se deben incluir como ingresos las transferencias de presupuesto para cubrir el OPEX y CAPEX, como un ingreso del proyecto.

Cuadro A.3 6 — Estructura conceptual del flujo financiero del proyecto de digitalización en el sector logístico

Horizonte	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
I. Ingresos										
II. Costos										
Mano de obra operación										
Conectividad										
Intereses										
Impuestos										
Amortizaciones										
CAPEX										
Equipos digitales en infraestructura										
Equipos digitales en vehículos										
Equipos digitales en mercancías										
Robots, drones, vehículos autónomos										
Equipos de computación										
Software										
Mano de obra instalación										
Materiales										
II. Flujo de caja										
Aportes de patrimonio										
Necesidades de deuda										
Indicadores										
VPN										
TIR										
ROE										

Como resultado del análisis del proyecto se estima la tasa de retorno del inversionista (ROE) y el valor presente neto con una tasa de descuento acorde con el nivel de riesgo percibida por los inversionistas. Un signo negativo en el valor presente del flujo de caja financiero no implica que el proyecto no sea conveniente desde la perspectiva económica y social.

Cuando el valor presente es menor a cero, el proyecto requiere subsidios. Para determinar si el proyecto es conveniente en términos de eficiencia económica es necesario construir el flujo de beneficios y costos valorados de acuerdo con su costo de oportunidad, como se indica en el siguiente apartado.

Construcción del flujo económico

El siguiente paso consiste en identificar cuáles son los costos y beneficios que genera el proyecto a la economía. Es necesario identificar la dirección y magnitud de los cambios en los excedentes de los consumidores y productores; las externalidades positivas o negativas del proyecto sobre terceros, y el impacto en las finanzas públicas. De igual forma se debe establecer el costo del proyecto en términos de movilización de recursos económicos (bienes y factores).

La metodología general de evaluación de proyectos supone mercados en competencia, donde el precio de los productos iguala el costo marginal y los factores son remunerados por sus respectivas productividades marginales. En la práctica, no obstante, las economías están expuestas a rigideces, distorsiones, externalidades y fallas de mercado²¹. Los factores del precio sombra o precios de cuenta se han construido precisamente para corregir los precios de mercado de forma que reflejen el verdadero costo de oportunidad de los bienes y factores involucrados en el proyecto. En la medida en que las economías son cada vez más abiertas y están expuestas a menores intervenciones, los precios y salarios convergen a sus respectivos costos de oportunidad y las correcciones por precios de cuenta dejan de ser indispensables.

En algunos países, las oficinas de planeación actualizan los factores de conversión a precios de cuenta, de forma que los analistas puedan traducir los flujos construidos con precios de mercado a flujos en precios de eficiencia. Cuando no se dispone de estos parámetros conviene, en todo caso, hacer algunos ajustes a los flujos con valores de mercado. Así, por ejemplo, los impuestos no representan un costo económico; se trata de una transferencia de los agentes privados hacia el sector público y no del uso final de los recursos. Los bienes transables se deben valorar a su precio de frontera. Si la economía enfrenta restricciones cambiarias, es necesario ajustar el componente importado de los proyectos de acuerdo con el verdadero costo de oportunidad de las divisas. En condiciones de desempleo el precio sombra de la mano de obra es inferior al salario de mercado.

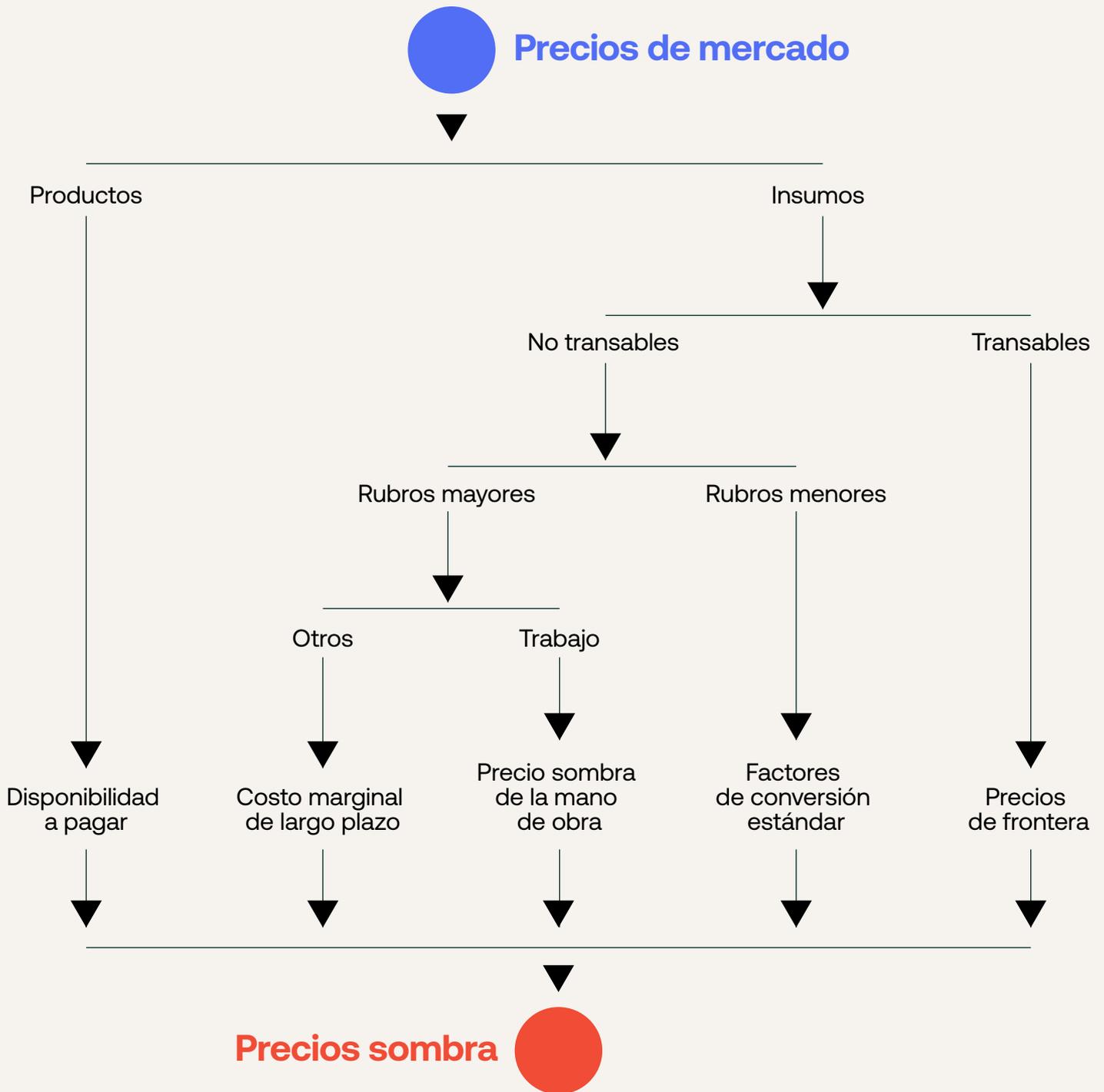
Como se describe en la Figura A.3 14, adaptada de la guía de evaluación de proyectos de la Unión Europea²², el paso de precios de mercado (flujo financiero) a precios sombra (flujo construido con el costo de oportunidad de los recursos) requiere modificar tanto los ingresos (beneficios) como los egresos (costos).

Los beneficios económicos engloban tanto el producto del proyecto, valorado por la disponibilidad a pagar de los usuarios, como el valor de las externalidades negativas mitigadas por el proyecto.

²¹ Estructuras oligopólicas o monopólicas, donde el precio de mercado supera el costo marginal; servicios subsidiados y de tarifas administrativas, donde el precio es inferior al costo marginal; bienes o servicios que no tienen precio en el mercado o con los que no se realizan transacciones, como las externalidades ambientales.

²² Ver la guía de la Comisión Europea (2014).

Figura A.3 14 — Paso de precios de mercado a precios de eficiencia



Fuente: Adaptado de Comisión Europea (2014).

El precio o tarifa del producto ofrecido por el proyecto debe excluir cualquier subsidio o transferencia originada en los presupuestos públicos. En sectores poco expuestos a la competencia, con tarifas reguladas o influenciadas por decisiones del sector público, los cargos que pagan los usuarios pueden no reflejar el valor social del bien o servicio. En estos casos, es necesario estimar directamente la disponibilidad de los usuarios a pagar por una unidad del bien o servicio (o la disposición a aceptar una compensación por ser excluido del consumo). Esta variable se estima a partir de modelos microeconómicos y estadísticos, tales como las preferencias reveladas o preferencias declaradas²³. Alternativamente, cuando la disponibilidad a pagar no sea pertinente, es correcto emplear el costo marginal de largo plazo como una estimación del valor económico del producto del proyecto²⁴.

En los beneficios se debe considerar el efecto del proyecto en el medio ambiente, como la reducción de emisión de gases efecto invernadero (GEI) o material particulado. La estimación de estos valores es compleja y normalmente quien está a cargo de la evaluación de proyectos acude a estudios internacionales que reporten los resultados de las valoraciones²⁵.

Por el lado de los costos, se da un tratamiento diferencial a los bienes transables y a los no transables²⁶. En el caso de los insumos transables, el costo de oportunidad se aproxima como el precio de referencia en el mercado internacional (precios de frontera). Si se trata de un bien exportable, el costo de oportunidad es el sacrificio en divisas de exportar este bien y, por lo tanto, el precio en el mercado internacional. Si

se trata de un importable, la mayor demanda del proyecto por este bien se cubre con un aumento en las importaciones y, nuevamente, el precio de referencia corresponde al precio en los mercados externos. El factor estándar para los distintos tipos de bienes se deriva del peso de los impuestos de comercio exterior en el valor del bien²⁷.

En el caso de los insumos no transables, el precio internacional no constituye una señal del costo de oportunidad del bien. Si se trata de insumos menores es correcto utilizar los factores de corrección que estiman las autoridades de planificación en los países. Estos factores, aplicados a los precios de mercado, arrojan el precio sombra o precio de cuenta del bien bajo análisis²⁸. Cuando la realización del proyecto eleva significativamente la demanda de un insumo no transable, es necesario analizar el costo incremental de largo plazo para determinar su costo de oportunidad.

En economías con desempleo, un porcentaje de la mano de obra contratada para ejecutar las obras proviene con alguna probabilidad de trabajadores desempleados cuyo costo de oportunidad puede ser cercano a cero. En este caso es necesario corregir los salarios de mercado para construir los flujos de costos. El cálculo depende de la tasa de desempleo y del esquema de cargas fiscales y subsidios sobre la nómina.

23 La metodología de las preferencias declaradas parte de la aplicación de una encuesta a una muestra representativa de potenciales usuarios. El encuestador define el bien, servicio o atributo y cita un precio (seleccionado aleatoriamente dentro de un rango razonable de valores). Posteriormente, pregunta al encuestado si está dispuesto a pagar ese precio por adquirir el bien, servicio o incluir nuevos atributos. A partir de las respuestas se conforma un vector de 0 (no estaría dispuesto a comprar) y 1 (estaría dispuesto a comprar), que actúa como variable discreta dependiente en el análisis econométrico. La matriz de variables independientes está dada por el precio citado a cada individuo y otras variables de control que lo caractericen, como su edad, sexo, ingreso y nivel de ingreso. La estimación del parámetro medio de disponibilidad a pagar se lleva a cabo con métodos econométricos de variable discreta como Logit y Probit. Normalmente, el diseño y procesamiento de las encuestas requiere la contratación de firmas especializadas que entiendan y corrijan eventuales sesgos, como la ausencia de una real restricción presupuestaria del encuestado a la hora de decidir su respuesta (sesgo hipotético). Estos modelos tienen una amplia aplicación en la evaluación de proyectos para parametrizar la función de demanda y el valor subjetivo del tiempo (transporte), valorar los perjuicios de no suministrar el servicio (energía eléctrica) o establecer el costo estadístico de la vida (siniestralidad y contaminación con material particulado).

24 El costo marginal de largo plazo se estima como el costo de producir una unidad adicional, en el largo plazo, cuando se opera a capacidad plena. Este concepto engloba tanto el OPEX (en condiciones de eficiencia) como el CAPEX, porque asume que para producir la nueva unidad es necesario expandir la capacidad instalada.

25 Por ejemplo, la guía mencionada de la Unión Europea fija en 40, 25, y 10 euros por tonelada de CO₂, los valores altos, medio y bajo de los gases efecto invernadero. Estos valores se aplican en las evaluaciones de proyectos que soliciten fondos comunitarios.

26 Bienes transables son todos aquellos que, por sus características, pueden negociarse en el mercado internacional. En este grupo se encuentran los productos agropecuarios, mineros y manufactureros, entre otros. Los bienes no transables, por su parte, físicamente no se pueden situar en el mercado internacional. Este es el caso de la tierra, los inmuebles o los servicios públicos por redes (energía, agua y saneamiento, telecomunicaciones), entre otros.

27 En el caso de bienes importados, se considera el valor de costo, seguro y flete (CIF, por sus siglas en inglés) sin aranceles ni IVA. En el caso de bienes exportables, el precio de frontera corresponde al valor franco a bordo (FOB, por sus siglas en inglés). El factor de precio de eficiencia para los bienes transables se estima como la relación del valor del comercio internacional del respectivo bien, es decir la suma de las importaciones (M) y las exportaciones (X) dividida por el valor comercial, incluyendo los impuestos aduaneros (TM): $\text{Factor} = (M+X)/(M+X+TM)$.

28 La estimación de estos factores se lleva a cabo con metodologías que utilizan los coeficientes técnicos de la matriz insumo-producto.

Cuadro A.3 7 — Estructura conceptual del flujo del proyecto de digitalización en el sector logístico para la evaluación beneficio-costo

Horizonte de análisis	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
I. Beneficios										
Ahorro en costo de transporte										
Ahorro en costo de almacenamiento										
Menor incertidumbre en tiempos de entrega										
Reducción de pérdidas de mercancía										
Ahorro en el manejo interno de los productos										
Ahorros por conectividad global en plataformas digitales										
Reducción de externalidades por descongestión en áreas urbanas										
Reducción en costos de transacción en la ejecución de contratos										
II. Costos										
OPEX										
Conectividad										
Personal operación										
CAPEX										
Sensores y cámaras										
Equipos de computación										
Robots, drones y vehículos autónomos										
Software										
Mano de obra instalación										
Materiales										
Flujo neto del proyecto = I - II										
Indicadores										
VPN										
TIR										
B/C										

Los impuestos y subsidios no constituyen un costo para la economía. Se trata de transferencias de recursos entre el sector público y privado. Para construir los flujos del proyecto a precios de eficiencia, los precios de los insumos y productos se deben incluir netos del impuesto al valor agregado (IVA) y otros impuestos directos e indirectos.

En ocasiones los proyectos pueden reducir las necesidades de transferencias del sector público. Este podría ser el caso de un proyecto que reduzca los costos de suministro de un bien básico. La eventual reducción de subsidios y transferencias desde los presupuestos públicos hacia el servicio inducidos por el proyecto se valoran al costo marginal de los fondos

públicos (CMFP)²⁹. Cuando un proyecto reduce la presión al fisco genera eficiencia económica, porque disminuyen las distorsiones que impone el sistema tributario a la economía³⁰.

Una vez construidos los flujos del proyecto en valores económicos (costo de oportunidad) no se deben valorar posibles efectos indirectos que genere el proyecto en la economía, porque se corre el riesgo de sumar dos veces el mismo beneficio. Por ejemplo, incluir como beneficio el número de empleos generados por el proyecto es un error. Los salarios son un costo y no un beneficio del proyecto. La mano de obra que emplea el proyecto deja de producir en actividades alternativas. Como se mencionó, cuando se corrige el valor de mercado de la nómina por el precio sombra de este factor, ya se está incorporando en el flujo del proyecto el hecho de que parte de los trabajadores atraídos por el proyecto eran desempleados.

Algo similar ocurre con la inclusión de los jalonamientos indirectos que puede generar el proyecto sobre otras ramas de la actividad económica. En efecto, es posible, a partir de los coeficientes de consumo intermedio de la matriz insumo-producto, estimar la mayor demanda y valor agregado generado por la demanda de insumos de otros sectores inducida por el proyecto. El punto es que, si se quisieran incluir los efectos indirectos como un beneficio adicional del proyecto, sería necesario estimar los efectos que se dejaron de dar por no aplicar estos mismos recursos en proyectos alternativos. Tanto De Rus (2010) como la guía de la UE recomiendan no sumar este tipo de beneficios indirectos adicionales. El flujo del proyecto, corregido con precios de eficiencia, mide el impacto del proyecto en la economía. El Cuadro A.3 7 sugiere la estructura del flujo del proyecto a precios económicos. Los beneficios y costos que se deben incluir dependen de la tipología específica de cada proyecto de digitalización.

Cálculo de los indicadores de beneficio costo

Para establecer la bondad de un proyecto a partir de las estimaciones de los flujos de beneficios y costos, se utilizan normalmente tres indicadores complementarios entre sí: el valor presente, la tasa interna de retorno y la relación beneficio-costos. En algunos contextos, esos indicadores se estiman tomando como referente los flujos en precios de eficiencia, para diferenciarlos de los indicadores estimados a partir de los flujos financieros del proyecto. En los flujos económicos, como se discutió anteriormente, los beneficios incluyen la valoración de los usuarios por el servicio (disponibilidad a pagar) y todas las posibles externalidades sobre la economía o el medio ambiente. Los costos, por su parte, se ajustan para corregir fallas de mercado y otras distorsiones, de forma que reflejen el costo de oportunidad de los recursos invertidos en el proyecto.

El valor presente neto (VPN) se calcula como la suma descontada de los beneficios (B_i) netos de costos (C_i), en cada año (i) en el horizonte de análisis (T). Puesto que los flujos

se descuentan con la tasa social (r), que refleja el costo de oportunidad de los recursos públicos, si el VPN es positivo, la ejecución del proyecto es conveniente para la economía. En ese sentido, el VPN es un indicador contundente para determinar la bondad de los proyectos. No obstante, su capacidad para priorizar proyectos dentro de una lista de iniciativas evaluada es limitada porque arroja valores absolutos. Es decir, un proyecto puede generar un VPN mayor que otro porque el volumen de recursos movilizados es mayor y no necesariamente porque sea más rentable en términos económicos y sociales.

$$VPN = \sum_{i=0}^T \frac{B_i - C_i}{(1 + r)^i}$$

Un indicador que no depende del volumen de recursos movilizado por el proyecto y que, por lo tanto, es útil para priorizar proyectos cuando se enfrenta una restricción presupuestaria es la tasa interna de retorno (TIR). La TIR

29 Sobre el CMFP, ver el cuadro 3.9 del documento principal, "Hacia el desarrollo de infraestructuras eficientes y sostenibles en América Latina: oportunidades y beneficios de la digitalización para los sectores de la energía eléctrica, la movilidad y la logística", disponible en la Scioteca de CAF.

30 A pesar de que los impuestos constituyen una transferencia entre agentes y no un costo, es importante tener en cuenta que el sistema impositivo genera distorsiones en la economía que la alejan de su potencial. Estas distorsiones son necesarias para ofrecer a la población bienes públicos, pero es conveniente medirlas. Analizando el sacrificio en generación de valor agregado que impone la elevación de las tasas tributarias en modelos de equilibrio general, se obtiene el costo marginal de los fondos públicos (CMFP). Este parámetro es útil para, por ejemplo, estimar los beneficios de un proyecto que reduce la necesidad de entregar subsidios. En este caso el proyecto reduce una transferencia del sector público al privado, lo cual, en principio, es neutro. No obstante, al reducir la presión fiscal, disminuyen las distorsiones del sistema tributario sobre la economía con un impacto positivo en bienestar estimado dado por el CMFP.

se define como la tasa a la cual el valor presente neto del proyecto es igual a cero. La TIR expresa la rentabilidad económica de los recursos que se destinen al proyecto. Cuando la TIR es superior a la tasa de descuento, el VPN es positivo y, por lo tanto, la ejecución del proyecto es conveniente para la economía. A pesar de su poder como indicador para establecer el orden de prioridad en una lista de proyectos, en el cálculo y aplicación de la TIR, es necesario tomar dos precauciones. En primer lugar, la solución matemática de la TIR no siempre es única. El analista puede tomar decisiones erradas si la TIR estimada por el modelo no corresponde a la solución dentro de los rangos relevantes del proyecto³¹. En segundo lugar, la TIR supone que los excedentes que genera el proyecto se reinvierten a esa misma tasa. En muchos proyectos esto no es posible, con lo cual el indicador puede sobrestimar la verdadera rentabilidad del proyecto.

$$\sum_{i=0}^T \frac{B_i - C_i}{(1 + TIR)^i} = 0$$

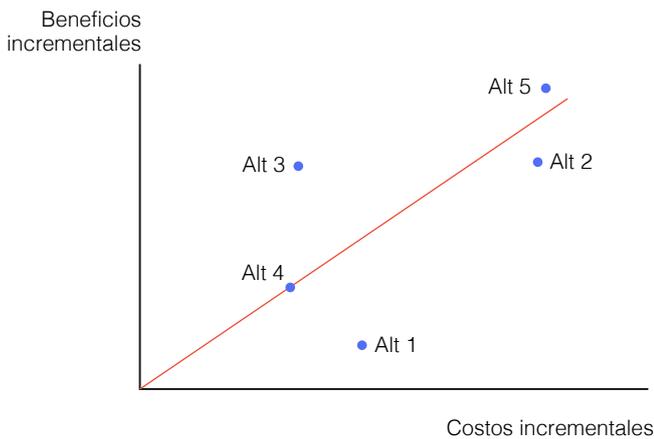
Finalmente, la relación beneficio-costos (B/C) se calcula como el cociente entre el VPN de los beneficios y el VPN de los costos. Cuando la relación es mayor que 1, el VPN del proyecto es positivo y la TIR supera la tasa de descuento. En estos casos, conviene ejecutar el proyecto. Si los recursos disponibles no son suficientes para financiar todos los proyectos con B/C > 1, se pueden aplicar reglas para priorizar los proyectos hasta agotar los recursos disponibles para inversión, a partir del aporte marginal de cada proyecto en los beneficios por recurso invertido.

$$\frac{B}{C} = \sum_{i=0}^T \frac{B_i / C_i}{(1 + r)^i}$$

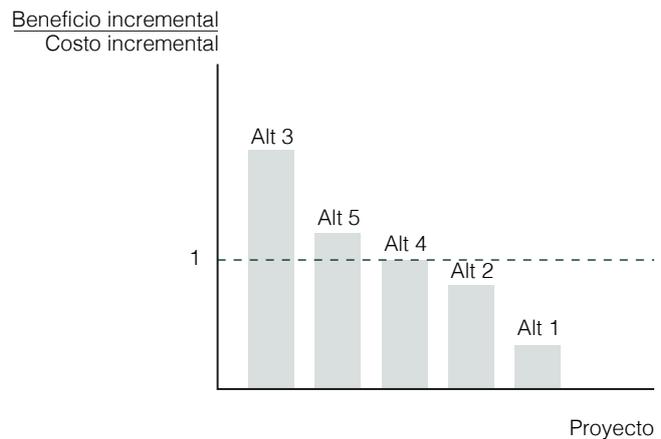
Además de estos tres indicadores básicos de evaluación, se han construido indicadores para determinar si un proyecto se debe acometer inmediatamente o conviene postergar su entrada en operación. En particular, esta puesta en marcha es conveniente en el año en que los beneficios netos de costos superen la tasa de descuento: (B-OPEX) > r(CAPEX). El primer año en que se cumpla esta desigualdad, conviene iniciar el proyecto (Económica Consultores, 2016).

Figura A.3 15 — Análisis de priorización de componentes

Panel A



Panel B



En el caso de la digitalización, es muy probable enfrentar situaciones en que es necesario establecer cuál es la profundidad óptima para la introducción de tecnologías

disruptivas 4.0 en los proyectos de despliegue o reposición de la infraestructura. En general, la digitalización de redes o servicios se puede desarrollar en etapas, comenzando por

³¹ En términos matemáticos, la TIR es una raíz de un polinomio de grado T (T corresponde a los periodos contemplados en el horizonte de análisis). El número de raíces reales o imaginarias es igual al grado del polinomio.

aquellos componentes o fases con mayor impacto. El análisis beneficio-costo permite priorizar el orden de inclusión de los componentes de digitalización. El primer paso es comparar el aporte incremental, tanto en beneficios como en costos, de cada alternativa de digitalización con relación a la línea de base que refleja el proyecto estructurado con base en las tecnologías tradicionales.

Como se observa en el panel A de la Figura A.3 15, algunas alternativas de digitalización arrojan mayores beneficios incrementales que otras. De igual forma, los costos adicionales que impone al proyecto llevar a cabo cada alternativa varían entre opciones. La línea roja en el gráfico (45 grados) divide el plano en dos. Las alternativas localizadas encima de la línea se caracterizan por generar beneficios incrementales superiores a los costos incrementales (alt 3 y alt 5). En principio, si lo permite la restricción presupuestaria, es conveniente, desde la perspectiva económica y social, incluir estos componentes de digitalización en el proyecto. Las alternativas de digitalización situadas por debajo de la línea (alt 1 y alt 2) demandan recursos superiores a los beneficios incrementales que aportan al proyecto, lo que indica la conveniencia de postergar estas inversiones en el tiempo. En efecto, la reducción de los costos de la tecnología o incrementos en los beneficios, por efectos como un mayor número de usuarios o de su ingreso, pueden elevar en el futuro la rentabilidad en términos económicos del componente. Finalmente, incluir o excluir la alternativa 4

es indiferente ya que los beneficios incrementales igualan los costos incrementales.

Una forma alternativa de llevar a cabo el análisis de priorización de componentes se muestra en el panel B de la figura. En este caso se grafica directamente la relación entre beneficios y costos incrementales. Desde una perspectiva económica es conveniente implementar todas las alternativas de digitalización con un coeficiente superior a 1 y rechazar las que arrojen valores inferiores. Si el responsable del proyecto enfrenta restricciones presupuestarias, debe considerar la inclusión de componentes en el orden sugerido por el indicador hasta agotar los recursos.

En algunos componentes de digitalización existen relaciones de dependencia entre alternativas. Dos alternativas pueden ser complementarias, de manera que para desplegar la alternativa 4 de digitalización es necesario haber desplegado la alternativa 2. También se puede dar el caso de alternativas sustitutas. Por ejemplo, si se desplegó la alternativa 4, ya no es posible desplegar la alternativa 2. En caso de interdependencia, el análisis de beneficios y costos incrementales se debe estructurar sobre estrategias de despliegue de los componentes, considerando el carácter complementario o sustitutorio de las opciones evaluadas. Cada estrategia plantea una secuencia viable de despliegue de alternativas para alcanzar los objetivos de digitalización.

Análisis de sensibilidad

La estimación de beneficios y costos se estructura sobre supuestos del comportamiento de variables que no están bajo el control de quien ejecuta el proyecto. El crecimiento demográfico, el comportamiento de la actividad económica, la evolución futura del precio de factores como los salarios, la tasa de interés o la tasa de cambio, influyen en los resultados del proyecto y no es posible predecirlos con precisión. Por ello, conviene llevar a cabo un análisis de sensibilidad para determinar qué tan robustos son los indicadores del proyecto ante escenarios ácidos de comportamiento de las variables externas.

El análisis de sensibilidad se debe concentrar en aquellas variables con mayor incidencia en el proyecto y considerar que algunas variables externas están correlacionadas entre sí. Se trata de incluir en el flujo de evaluación un cambio en los supuestos y registrar el nuevo resultado. La relación de los cambios porcentuales en el resultado final y el cambio porcentual en el supuesto de modelación es un indicador de

la sensibilidad del desempeño del proyecto a cada una de las variables consideradas en el análisis. De igual forma, es posible establecer cuál es el rango de valores de determinada variable en el cual los resultados del proyecto son aceptables. Este ejercicio es útil porque permite crear una noción del riesgo de que el proyecto se aleje de los objetivos en determinados estados de la economía o el sector. Si es improbable que las variables se salgan del rango, el ejercicio de evaluación se puede considerar robusto para soportar las decisiones y seguir adelante con la inversión. En caso contrario, es necesario llevar a cabo un análisis de riesgo más profundo. El análisis de sensibilidad también se puede conformar analizando el efecto simultáneo de varias variables sobre el desempeño del proyecto. En este caso, se trata de conformar escenarios —optimista, medio y pesimista— y reportar los resultados cuando el modelo simula los indicadores del proyecto con cada uno de ellos.

Es útil y, en ocasiones, una exigencia estructurar una matriz de riesgos del proyecto. La matriz contiene, en las filas, una lista de los riesgos a los que el proyecto se puede ver expuesto. En las columnas, por su parte, se incluyen las posibles causas de ocurrencia; el impacto de la ocurrencia sobre los resultados del proyecto (proviene del análisis de sensibilidad); los efectos negativos sobre el proyecto; el nivel (rango) de probabilidad de una ocurrencia³² y la severidad del impacto³³, y las medidas para mitigar su ocurrencia o impacto. La combinación de probabilidad y severidad del impacto permiten, a su vez, establecer el nivel de riesgo del proyecto. Es recomendable descartar proyectos con niveles muy elevados de riesgo. La construcción de la matriz de riesgo constituye una forma de incluir en la estructuración medidas orientadas a mitigar o prevenir los riesgos con un alto impacto en el desempeño del proyecto, tanto en la etapa de construcción como en la de operación. En particular, el ejercicio permite asignar los riesgos entre los diferentes agentes involucrados en el proyecto. Como regla general, los riesgos se deben asignar a quien esté en mejores condiciones para gestionarlos.

En proyectos de gran tamaño y para riesgo de alto impacto, conviene llevar a cabo un análisis de riesgo. Se trata de caracterizar la función de distribución subyacente de las variables aleatorias bajo análisis. Con los parámetros de la función se alimenta un “modelo de Montecarlo”, el cual permite realizar un número grande de simulaciones donde la variable adquiere diferentes valores generados aleatoriamente a partir de la función de distribución. En cada simulación, se reportan los resultados de los indicadores del proyecto (VPN, TIR, B/C). Con esta información, es posible construir una función de distribución del desempeño del proyecto y determinar, por ejemplo, cual es la probabilidad de que el VPN del proyecto sea negativo.

32 En la guía de evaluación de la UE (Comisión Europea, 2014) se sugiere catalogar los riesgos por rangos de probabilidad: muy improbable (0-10 % de probabilidad); improbable (10-30 % de probabilidad); tan probable que ocurra como que no ocurra (33-66 % de probabilidad); probable (66-90 % de probabilidad); muy probable (90-100 % de probabilidad).

33 De igual forma, la guía de la UE (Comisión Europea, 2014) clasifica los efectos de la ocurrencia sobre el proyecto en seis categorías, donde la categoría 1 es ningún efecto y la categoría 4 es catastrófico.

Incentivos y barreras de la digitalización del sector

Desde una perspectiva técnica, la digitalización de la logística exige el establecimiento de protocolos estándares para la intercomunicación entre todos los agentes y eslabones de las cadenas de suministro. El gobierno puede desempeñar un papel importante concertando estos protocolos con los principales actores y adecuando sus propios servicios (aduanas, control fitosanitario, etc.) a las exigencias de la digitalización.

La digitalización de corredores logísticos requiere, además, buena conectividad. Se deben estudiar esquemas eficientes de acceso al espectro u otros medios de comunicación para asegurar la conectividad de la infraestructura, los vehículos y las mercancías.

Una barrera a la penetración de las cadenas digitales de suministro es la informalidad de la actividad productiva en algunos sectores de los países de la región³⁴. La digitalización presume formalidad: cuentas bancarias, registro ante la Cámara de Comercio correspondiente, pago de impuestos. Agentes formales no pueden engranar en sus procesos digitales a productores informales porque se crean vacíos en la documentación, incompatibles con las cadenas digitales de suministro. Esquemas de tributación y bancarización simplificada que incentiven la formalización pueden ir en la dirección correcta para estimular la digitalización en la logística.

La promoción de contratos estándar para la contratación de servicios logísticos en plataformas digitales y multimodales puede impulsar la eficiencia en este sector.

Cuadro A.3 8 — Aspectos regulatorios asociados a la digitalización del sector logístico

Regulación técnica

Adoptar protocolos para la intercomunicación de todos los agentes y eslabones de la cadena de suministro

Aduanas

Transportadores (marítimo, terrestre y aéreo)

Puntos de almacenamiento y redistribución logística

Fortalecer la conectividad de los corredores logísticos

Fibra óptica

Coberturas 4G y 5G

Regulación económica

Formalización de los agentes en la cadena logística

Bancarización

Registros ante cámaras de comercio

Certificaciones tributarias

Implementar plataformas de gobierno en línea para las transacciones en las operaciones de comercio

Trámites aduaneros

Manifiestos de carga

Trámites fitosanitarios

Regulación de la firma y ejecución de contratos con seguimiento electrónico

Blockchain

Protocolos para la digitalización

Gobernanza y privacidad de los datos generados en las cámaras y sensores en los corredores logísticos

34 La informalidad se detecta en varios eslabones de la cadena: productores, transportadores, centros de acopio y minoristas.



