

Industria 4.0

Gestión del conocimiento

Liliana Viáfara Gálvez

Jhon Quintero Salgado

Vanessa Montero Méndez

Juan Carlos Garzón Osorio

Andrés López Astudillo

BITÁCORAS DE LA MAESTRÍA

**INDUSTRIA 4.0
GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO**

BITÁCORAS DE LA MAESTRÍA

INDUSTRIA 4.0 GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO

*Liliana Viáfara Gálvez
Jhon Harry Quintero Salgado
Vanessa Montero Méndez
Juan Carlos Garzón Osorio
Andrés López Astudillo*

Editorial Universidad Icesi, 2021

Industria 4.0 - Gestión del conocimiento

© Liliana Viáfara Gálvez, Jhon Quintero Salgado, Vanessa Montero Méndez, Juan Carlos Garzón Osorio y Andrés López Astudillo.

1 ed. Cali, Colombia. Universidad Icesi, 2021

190 p., 19x24 cm

Incluye referencias bibliográficas

ISBN: 978-958-5590-47-2 (PDF)

<https://doi.org/10.18046/EUI/bm.8.2021>

1. Industrial engineering 2. Supply chains 3. Knowledge management (IEEE) I.Tit
629 – dc22

© Universidad Icesi, 2021

Facultad de Ingeniería

Colección: Bitácoras de la maestría, vol. 8.

Rector: Francisco Piedrahita Plata

Decano Facultad de Ingeniería: Gonzalo Ulloa Villegas

Coordinador editorial: Adolfo A. Abadía



Producción y diseño: Claros Editores SAS.

Editor: José Ignacio Claros V.

La publicación de este libro se aprobó luego de superar un proceso de evaluación doble ciego por dos pares expertos. El contenido de esta obra no compromete el pensamiento institucional de la Universidad Icesi ni le genera responsabilidades legales, civiles, penales o de cualquier otra índole, frente a terceros.



Calle 18 #122-135 (Pance), Cali-Colombia
editorial@icesi.edu.co
www.icesi.edu.co/editorial
Teléfono: +57(2) 555 2334

La serie Bitácoras de la Maestría es una publicación de la Universidad Icesi que tiene como objetivo mejorar la difusión de los trabajos de grado meritorios de sus estudiantes, exponiéndolos a un público más amplio, no necesariamente académico, que pueda aprovecharlos en su cotidianidad. Se trata de “mover” las tesis, desde los anaqueles de las bibliotecas, hacia las manos de los actores de la vida diaria y establecer un vínculo entre autores y potenciales usuarios. Cuando el volumen se origina en la Facultad de Ingeniería, en cada volumen se incluyen tres trabajos con temática diversa. Por lo heterogéneo de su contenido, el nombre de cada volumen está compuesto por el nombre de la serie y el de los tres temas que incluye.

Liliana Viáfara Gálvez

Ingeniera Industrial con Maestría en Ingeniería Industrial de la Universidad Icesi (Cali, Colombia) y Lean Six Sigma Black Belt del Centro Nacional de Productividad [CNP] (Cali). Sus áreas de interés incluyen: industria 4.0, analítica y grandes volúmenes de datos. Cuenta con más de diez años de experiencia en dirección de proyectos y en diversas áreas de la cadena de abastecimiento en industrias manufactureras. lilivifara@gmail.com

John Harry Quintero Salgado

Ingeniero Industrial con énfasis en Logística de la Universidad Nacional de Colombia (Manizales) con Maestría en Ingeniería Industrial con énfasis en Logística y Cadenas de Abastecimiento de la Universidad Icesi (Cali, Colombia). Se encuentra vinculado a Mabe México como Gerente Nacional de Centros de Distribución Regionales, previamente fue Gerente de Cadena de Valor para Mabe Colombia y Líder Funcional en la implementación de SAP en Mabe para la región andina. Sus áreas de interés profesional se enfocan en los temas relacionados con la planeación de cadenas de suministro y operaciones. Sus mayores fortalezas están en el liderazgo de equipos y el trabajo colaborativo con las áreas comerciales, proveedores y clientes. john.quintero@mabe.com.co

Juan Carlos Garzón Osorio

Doctor en Dirección de Empresas de la Universitat de València (España); Magister en Ciencias de la Organización, Magister en Administración de Empresas y Especialista en Gerencia de la Calidad de la Universidad del Valle (Cali, Colombia); Especialista en Gerencia de la Producción de la Universidad Icesi (Cali); e Ingeniero Electricista de la Universidad Nacional de Colombia (Manizales). Es profesor de tiempo completo, miembro del grupo de investigación Icubo y Director de la Maestría en Ingeniería Industrial de la Universidad Icesi. Sus áreas de interés incluyen: industria 4.0; logística 4.0 y energías renovables. Cuenta con amplia experiencia en la administración, operación y mantenimiento de grandes proyectos de generación de energía eléctrica. jcgarzon@icesi.edu.co

Vanessa Montero Méndez

Ingeniera Industrial de la Universidad del Valle (Cali, Colombia) con Maestría en Ingeniería Industrial de la Universidad Icesi (Cali); diplomada por Icontec en el Sistema de Gestión Integral HSEQ con entrenamiento en planeación efectiva en proyectos de investigación en salud por el Centro Internacional de Entrenamiento e Investigaciones Médicas (CIDEIM) con el apoyo de UNICEF / PNUD / Banco Mundial / OMS. Como Coordinadora de la Unidad Administrativa del CIDEIM, coordina y apoya el diseño y la implementación de procesos institucionales y el desarrollo de políticas y procedimientos para el cumplimiento de las directrices y regulaciones institucionales y gubernamentales aplicables. Desde 2016 participa en la formulación y aplicación de políticas relacionadas con la estructura organizacional, las compensaciones y los beneficios recibidos por el personal. cvmontero@cideim.org.co

Andrés López Astudillo

Profesor de tiempo completo, Director de la Especialización en Logística y miembro del grupo de investigación iCubo de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Icesi (Cali, Colombia). Es Doctor en Dirección de Empresas (Universitat de València, España), Magíster en Sociedad de la Información y el Conocimiento (Universitat Oberta de Catalunya, España) y MBA, Especialista en Gerencia de Mercadeo y Gerencia de Producción y Administrador de Empresas de la Universidad Icesi. Sus áreas de interés en investigación son: sostenibilidad ambiental con énfasis en la medición de la huella de carbono en agricultura; logística y cadenas de suministro. alopez@icesi.edu.co

Tabla de contenido

Presentación	19
Hoja de ruta para la implementación de un sistema de manufactura basado en industria 4.0	21
Resumen	23
Introducción	24
El mundo frente a la revolución de la manufactura	24
El caso colombiano	25
La multinacional de tintas en Colombia	28
Estudios previos	30
Marco teórico	32
Diagnóstico de madurez y preparación de I 4.0	37
Modelo propuesto	41
Piloto en la subsidiaria de la multinacional	50
Propuesta de hoja de ruta I 4.0	60
Conclusiones y recomendaciones	68
Referencias	72
Anexo	77

Adaptación a industria 4.0 del proceso de entrega domiciliaria de una empresa distribuidora de electrodomésticos	93
Resumen	95
Introducción	96
Marco teórico	98
Principios de la industria 4.0	99
Digitalización en la logística	101
Elementos de la industria 4.0	103
Situación actual de la empresa	118
Propuesta	122
Conclusiones	137
Referencias	138
Propuesta para la gestión del conocimiento en los procesos de gestión humana de un centro de investigación	141
Resumen	143
Introducción	144
Marco de referencia	147
Antecedentes	147
Marco teórico	148
Construcción de la propuesta	155
Identificación de componentes del planteamiento del problema en el mapa de procesos	155
Construcción de la herramienta para identificar la gestión del conocimiento en las prácticas de gestión humana	159
Identificación de las prácticas aplicables a los procesos de gestión humana y manejo del riesgo psicosocial	168
Estrategia propuesta	175
Conclusiones y recomendaciones	183
Referencias	184
Anexo. Cuestionario para las entrevistas	187

Índice de Tablas

Hoja de ruta para la implementación de un sistema de manufactura basado en industria 4.0

Tabla 1. Comparativo de modelos	38
Tabla 2. Modelo de madurez y preparación propuesto I 4.0	41
Tabla 3. Niveles de madurez de una empresa	44
Tabla 4. Límites para determinar un nivel de madurez	44
Tabla 5. Requisitos de nivel de madurez de los productos y servicios inteligentes	45
Tabla 6. Requisitos de nivel de estrategia y organización	46
Tabla 7. Requisitos de nivel de madurez de los procesos de negocio inteligentes	48
Tabla 8. Encuestados por campo asociado	50
Tabla 9. Visión I 4.0 para la multinacional	62
Tabla 10. Perfil de los nuevos cargos para I 4.0	66

Adaptación a industria 4.0 del proceso de entrega domiciliaria de una empresa distribuidora de electrodomésticos

Tabla 1. Matriz de relación entre las tecnologías de la I 4.0 y el proceso de entregas domiciliarias	123
--	-----

Propuesta para la gestión del conocimiento en los procesos de gestión humana de un centro de investigación

Tabla 1. Evolución de la función de personal en las organizaciones	150
Tabla 2. Principales procesos de gestión del talento humano	151
Tabla 3. Dominios y dimensiones psicosociales	154
Tabla 4. Contenido de los procesos	156
Tabla 5. Identificador de cada componente y subcomponente	160
Tabla 6. Subcomponentes identificados en los documentos del Centro	161
Tabla 7. Herramienta para priorización de la revisión de documentos	164
Tabla 8. Etapas de gestión del conocimiento según revisión de artículos	169
Tabla 9. Consolidación de actividades según las prácticas de gestión del conocimiento incluidas en los artículos revisados / etapa de la gestión del conocimiento	169
Tabla 10. Consolidación de actividades y practicas: gestión humana y manejo de riesgo psicosocial	171
Tabla 11. Estrategia propuesta para la gestión del conocimiento en los procesos de gestión humana	175
Tabla 12. Categorías incluidas en la herramienta de validación	179
Tabla 13. Resultados generales de la encuesta	180
Tabla 14. Estrategia final propuesta para la gestión del conocimiento en los procesos de gestión humana	180

Índice de Figuras

Hoja de ruta para la implementación de un sistema de manufactura basado en industria 4.0

Figura 1. Nivel de madurez / campo asociado	51
Figura 2. Nivel de madurez / dimensión	51
Figura 3. Dimensión productos y servicios inteligentes	52
Figura 4. Bajo involucramiento con I 4.0	54
Figura 5. Tecnologías que impulsan la I 4.0: planeadas/implementadas	54
Figura 6. Campo asociado recursos humanos	55
Figura 7. Tecnologías I 4.0	56
Figura 8. Recolección y uso de datos	57
Figura 9. Integración y visibilidad extremo a extremo de la cadena de suministro	58
Figura 10. Niveles de colaboración	59
Figura 11. Hoja de ruta propuesta	60
Figura 12. Estrategias de implementación	63
Figura 13. Plan estratégico para la implementación de I 4.0	65
Figura 14. La casita de la I 4.0	69

Adaptación a industria 4.0 del proceso de entrega domiciliaria de una empresa distribuidora de electrodomésticos

Figura 1. Principios de diseño de la industria 4.0	99
Figura 2. Ecosistema de la logística digital sostenible	104
Figura 3. Proceso de distribución actual	119
Figura 4. Diagrama relacional	120
Figura 5. Propuesta para el proceso de entrega domiciliaria de los productos adaptando las tecnologías de la I 4.0	124
Figura 6. Mapa de ruta para la propuesta	125

Propuesta para la gestión del conocimiento en los procesos de gestión humana de un centro de investigación

Figura 1. Especificación ESP01020 - Mapa de procesos del Centro, v.2	155
Figura 2. Identificación de los componentes del problema en los procesos establecidos para las actividades del Centro	157
Figura 3. Identificación de subcomponentes de gestión del conocimiento en las prácticas de gestión humana por proceso y número del documento donde están presentes	160
Figura 4. Número de documentos asociados a cada subcomponente	162
Figura 5. Determinación gráfica del límite / categorías de documento	165
Figura 6. Propuesta de la gestora de TIC y e-learning de los componentes de gestión del conocimiento del Centro	166

Acrónimos

Hoja de ruta para la implementación de un sistema de manufactura basado en industria 4.0

AMP	Advanced Manufacturing Association
Cintel	Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
Cobot	Collaborative Robot
CPPS	Cyber Physical Production Systems
CPS	Cyber Physical Systems
CTDE	Centros de Transformación Digital Empresarial
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadística
DNP	Departamento Nacional de Planeación
ERP	Enterprise Resource Planning
GEM	Global Entrepreneurship Monitor
I 4.0	Industria 4.0
IA	Inteligencia Artificial
IIC	Industrial Internet Consortium
IIoT	Industrial IoT
IoT	Internet of Things
MinCIT	Ministerio de Comercio, Industria y Turismo

MinTic	Ministerio de las Tecnologías de Información y las Comunicaciones
MTC	Multinacional de Tintas en Colombia
PDP	Política de Desarrollo Productivo
PTP	Programa de Transformación Productiva
RA	Realidad Aumentada
RFID	Radio Frequency ID
RTLS	Real-Time Locating Systems
RV	Realidad Virtual
SaaP	Service as a Product
TIC	Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
VSM	Value Stream Mapping
WCM	World Class Manufacturing

Adaptación a industria 4.0 del proceso de entrega domiciliaria de una empresa distribuidora de electrodomésticos

3DP	3D Printing
AGV	Automated Guided Vehicles
AI	Artificial Intelligence
AIDC	Automatic Identification and Data Capture
AM	Additive Manufacturing
AR	Augmented Reality
BI	Business Intelligence
BPO	Business Process Outsourcing
CMMS	Computerized Maintenance Management Systems
Cobots	Collaborative robots
CPS	Cyber Physical Systems

CRM	Customer Relationship Management
DSC	Digital Supply Chain
ERP	Enterprise Resource Planning
HMI	Human Machine Interface
I 4.0	Industria 4.0
IoE	Internet of Everything
IoP	Internet of Persons
IoS	Internet of Services
IoT	Internet of Things
M2M	Machine to Machine
MES	Manufacturing Execution Systems
ML	Machine Learning
PLM	Product Lifecycle Management
RFID	Radio Frequency ID
SaaS	Software as a Service
SCADA	Supervisory Control And Data Aquisition
SKU	Stock Keeping Unit
SOA	Service Oriented Architecture
TIC	Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
VMI	Vendor Management Inventory
VR	Virtual Reality

Propuesta para la gestión del conocimiento en los procesos de gestión humana de un centro de investigación

BPC	Buenas Prácticas Clínicas
Colciencias	Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación

DAGMA	Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente
GC	Gestión del Conocimiento
GH	Gestión Humana
Invima	Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos
Minambiente	Ministerio de Medio Ambiente
Minsalud	Ministerio de Salud y Protección Social
PHVA	Planear, Hacer, Verificar y Actuar
RP	Riesgo Psicosocial
SGSST	Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo

Presentación

A fines del siglo XVIII, el Reino Unido vivió una de las mayores transformaciones sociales y económicas de la historia de la humanidad. El descubrimiento de la máquina de vapor y su incorporación como eje de la producción transformó al mundo. Poco a poco una sociedad rural, feudal, con una economía escasa, básica, primordialmente agrícola, dio paso a una sociedad más urbana, industrializada, ya no con siervos y señores, sino con patrones y obreros. Dejar atrás la energía de los bueyes para utilizar la de las máquinas, no solo en la producción industrial, sino también en cosas como el transporte, supuso un aumento en la productividad y una movilidad sin paralelo y con ello una multiplicación sin precedente de la riqueza. Su fuerza cambió todo.

Los economistas citan al menos otras dos revoluciones industriales, ninguna de ellas, eso sí, tan arrolladora como la original. La primera se sitúa entre fines del siglo XIX e inicios del XX, y se caracteriza por: la incorporación a la producción de nuevas fuentes de energía, como la electricidad y el petróleo; el surgimiento de los modernos medios de transporte, como el avión y el automóvil; y la tecnificación de la gestión industrial, que tiene en la producción en línea a su mejor exponente. Fue sin duda el inicio del proceso de globalización del mundo. Por su parte, la irrupción de la informática a partir de la segunda mitad del siglo XX y su introducción en todas las facetas de la vida económica y social de fines de siglo, junto con el desarrollo de las tecnologías de la información y las comunicaciones, simbolizan la tercera revolución industrial, la de la aldea global, la del mundo interconectado, la de la inmediatez en las comunicaciones.

Todo este antecedente sirve para presentar el tema de los dos primeros capítulos de esta edición: la industria 4.0, también conocida como la cuarta revolución industrial, una en donde los conceptos fundamentales son tecnológicos: la

Presentación

automatización, la comunicación entre máquinas, la operación autónoma, los vehículos no tripulados, la impresión 3D, los sistemas ciberfísicos, el *machine learning*, la *big data*, la identificación por radiofrecuencia, la realidad aumentada y la inteligencia artificial, entre otros. Si bien aún no existe consenso en cuanto a cuál será su impacto, el hecho claro es que está ahí, es una realidad, y entidades como el Foro Económico Mundial la tienen en el centro de la discusión. El aporte de este libro al tema se da en los dos primeros capítulos: en el primero, con el desarrollo de una hoja de ruta para su implementación en la subsidiaria en Colombia de una multinacional industrial dedicada a la producción de tintas; en el segundo, con su aplicación al proceso de entrega domiciliaria en una empresa distribuidora de electrodomésticos en Colombia.

En el tercer capítulo se aborda otro tema de gran actualidad, la gestión del conocimiento, el desarrollo de las competencias organizacionales que permiten no solo conservar el conocimiento que se construye, sino universalizarlo y reducir dependencias. Y el tema se aborda de una manera muy particular, pues se aplica a un centro de investigación científica, es decir, a un lugar donde el saber no solo es importante, sino que es lo importante, su razón de ser y su principal activo. Ahí, el conocimiento se produce a partir del trabajo de personas que lo construyen día a día, durante el desarrollo de proyectos que tienen presupuestos y periodos establecidos, después de los cuales es imposible conservar a todos los investigadores; ahí, entonces, el riesgo de perder el conocimiento es alto. Si bien el resultado del trabajo realizado es una estrategia de gestión de conocimiento para ser incorporada en los procesos particulares de gestión humana de este centro de investigación en particular, es un producto que puede ser una referencia útil para organizaciones similares.

José Ignacio Claros V.
Editor

HOJA DE RUTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MANUFACTURA BASADO EN INDUSTRIA 4.0

Liliana Viáfara Gálvez, MSc.

Juan Carlos Garzón, Ph.D

Citación

Viáfara, L. & Garzón, J. C. (2021). Hoja de ruta para la implementación de un sistema de manufactura basado en industria 4.0. En *Bitácoras de la maestría: vol. 8. Industria 4.0 - Gestión del conocimiento* (pp. 21-91). Universidad Icesi.

RESUMEN

El avance en la ciencia y la tecnología, primordialmente en los campos de la automática y la telemática, con conceptos como los de Internet de las cosas, computación en la nube, *big data*, analítica y robótica, ha hecho posible un cambio de paradigma en la producción. Hoy, cada vez con más fuerza, se habla de la industria 4.0, un concepto en donde prima la conexión entre máquinas, productos y sistemas, y en donde las relaciones de la empresa con su entorno se amplían significativamente. Su implementación no es una decisión simple, representa un reto importante para las empresas, pues no se trata solo de incorporar tecnología y cambiar la forma de abordar la producción, sino que requiere cambios significativos en la cultura organizacional. El producto final de esta investigación es una hoja de ruta para la transformación del sistema de manufactura de la subsidiaria de una empresa multinacional dedicada a la fabricación de tintas, hacia un sistema basado en industria 4.0. En el proceso, a partir de la identificación de modelos de diagnóstico del nivel de madurez y preparación para este cambio hallados en la literatura, se propone un modelo ajustado y se desarrolla la citada hoja de ruta. Si bien el trabajo se desarrolló en el contexto de una empresa en particular, la expectativa es que sus resultados se puedan extrapolar y sean útiles para la industria en general.

INTRODUCCIÓN

Cuando se habla de la evolución de los sistemas de manufactura es necesario indicar que el avance de la ciencia y la tecnología han contribuido con hitos importantes en su desarrollo. Aunque aún no hay un acuerdo universal sobre lo que constituye una revolución industrial (Maynard, 2015), desde una perspectiva de evolución tecnológica, hay cuatro etapas comúnmente identificadas (Kagermann et al., 2013). Las tres primeras revoluciones industriales tomaron alrededor de dos siglos: las máquinas accionadas por agua y vapor, entre 1784 y la mitad del siglo XIX; la producción en masa y la división del trabajo, entre finales del siglo XIX y 1970; y el uso de la electrónica y las tecnologías de comunicación en la manufactura, de 1970 a 2011. La cuarta etapa o revolución industrial se define a partir de la introducción de conceptos como: Internet de las cosas [IoT, *Internet of Things*] manufactura inteligente, manufactura en la nube, *big data* y *analytics* y robótica, entre otros, que se agrupan en el concepto de sistemas de manufactura basados en Industria 4.0 [I 4.0], dado a conocer en Alemania durante la feria de Hannover en 2011.

Desde 2013 el término “industry 4.0” ha pasado de 0/100 a 82/100 picos en búsquedas en Google y se ha convertido en uno de los temas más discutidos en conferencias, foros y exposiciones de manufactura y las universidades y los centros de investigación han empezado a contribuir con experimentos de laboratorios con temática de I 4.0, como Smart Factory OWL1. Las empresas líderes en tecnología, como IBM, Siemens, ABB y Sneider, se han unido a convocatorias de *startups* y a concursos de financiación, como BIND4.0. También se han desarrollado diversas estrategias gubernamentales, públicas y privadas para la generación de planes futuros que dan pautas para aproximarse a esta revolución de la manufactura y que prueban su importancia con relación al crecimiento económico mundial. A continuación se resumen las iniciativas a nivel global y se presenta la situación en Colombia.

EL MUNDO FRENTE A LA REVOLUCIÓN DE LA MANUFACTURA

En Europa: Alemania aprobó en 2012 el plan de acción High-Tech Strategy 2020 (Bundesministerium für Bildung und Forschung, 2014), incluyendo un proyecto –de un total de diez–referido a I 4.0; en 2013 Francia realizó una revisión estratégica denominada La Nouvelle France Industrielle (Ministère du Redresse Productif, 2013), en donde se define la política industrial francesa

y se introduce el término Industrial Plan of the Future, y el Reino Unido presentó Future of Manufacturing (UK Department for Business, Innovation & Skills, & Government Office for Science, 2013), un panorama para apoyar el crecimiento de la manufactura en las próximas décadas; y en 2014 se creó la Asociación Público-Privada contractual donde se tratan temas sobre las fábricas del futuro (European Commission, 2014), con una perspectiva a 2020.

En Asia: Corea del Sur anunció en 2014 el Innovation in Manufacturing 3.0 (Kang et al., 2016); en 2015, China emitió la estrategia Hecho en China 2025–, que menciona diez campos para acelerar la informatización e industrialización en ese país (Li, 2015)–, y Japón adoptó el Quinto Plan Básico de Ciencia y Tecnología, en el que se destaca un concepto en el que son líderes a nivel mundial, el de la *super smart society* (Council for Science, Technology and Innovation, 2015); y en 2016, Singapur, con miras al 2020, trazó el plan Research Innovation Enterprise (National Research Foundation, 2016).

En los Estados Unidos de América: en 2011 el gobierno, a través de la Advanced Manufacturing Association [AMP], inició recomendaciones para asegurar que el país lidere la próxima generación de manufacturas (Molnar, 2011); y en 2014 se creó el Industrial Internet Consortium [IIC], el cual reúne a las organizaciones y tecnologías necesarias para acelerar el crecimiento de la Internet industrial en el país (IIC, 2014).

EL CASO COLOMBIANO

Al hablar de Colombia, es necesario tener en cuenta que su economía está conformada por más de 1.2 millones de micro, pequeñas y medianas empresas (mipymes) que representan: más del 99% de la base empresarial del país, el 81% de los empleos y el 50% del mercado minorista (Departamento Nacional de Planeación [DNP], 2018). En 2008, el Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE] realizó un estudio sobre los indicadores básicos de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones [TIC] en Colombia y encontró que casi la totalidad de las empresas grandes y medianas utilizaban computadores e Internet en sus procesos productivos, pero que solo el 13,2% de las microempresas usaban computadores y solo el 7,2% usaban Internet.

En 2008, el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo [MinCIT] lanzó el PTP [Programa de Transformación Productiva], el que sólo hasta 2015 comenzó a ejecutar programas de asistencia técnica dentro de las empresas y unidades

productivas para mejorar sus indicadores de productividad. En la actualidad, el PTP trabaja con 18 sectores priorizados por Política de Desarrollo Productivo [PDP] (Conpes 3866 de 2016), en razón a su impacto en la producción, el empleo y las exportaciones, y a su potencial para generar productos y servicios con mayor valor agregado y sofisticación. Seis de los sesenta proyectos que incluye su portafolio se pueden asociar a transformaciones encaminadas a I 4.0.

Entre 2012 y 2016, entre el MinCIT y el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones [MinTIC] lanzaron iniciativas como: ViveLab, que promueve la producción de contenidos digitales; Apps.co, que apoya emprendimientos TIC en el país; INNpulsas –quizás la más exitosa–, que promueve el emprendimiento, la innovación y la productividad como ejes para el desarrollo empresarial y la competitividad de Colombia; y MiPyme Digital –que evolucionó a Vive Digital y Transformación Digital–, que le apunta a consolidar la adopción de las TIC en empresas para mejorar su productividad y competitividad, para lo que no se limita a conectarlas a Internet u ofrecerles herramientas TIC, sino que busca que la incorporación de las TIC les represente un valor real y estratégico.

En 2016, durante el Andicom, el Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones [Cintel], junto con el Ministerio TIC colombiano, presentaron el primer manifiesto de líderes de la industria para la transformación digital (Castaño, 2016), una declaración de los propósitos y las necesidades de las grandes empresas para continuar su transformación y promover el desarrollo económico y social en Colombia y la región, a través de la innovación y la tecnología.

En 2017, a través de la citada Transformación Digital, se lanzó la estrategia de Centros de Transformación Digital Empresarial [CTDE], que buscan fortalecer a las unidades de desarrollo empresarial que operan en las cámaras de comercio y los gremios del país, mediante la oferta de servicios a sus empresarios que les permitan derribar las barreras que limitan la apropiación de la tecnología.

MiPyme Digital contribuyó a un mayor acceso a las TIC, como reflejan algunas cifras: la proporción de empresas conectadas a Internet cambió de 7 % en 2010 a 75 % en 2016; la de empresas que cuentan con una página web para promocionar sus productos subió de 21 % en 2014 a 53%; y se incrementaron, de 2 % a 8 % sus ventas por Internet (Luna, 2018),

En 2016 y 2018 Cintel midió el nivel de madurez de transformación digital en las empresas en Colombia con una muestra de cuatrocientas de las cinco mil más grandes del país, y mostró así que pasó de 57,64 % a 62,88 %. Según Castaño (2018), Director Técnico de Cintel, la medición de 2018 deja cuatro mensajes significativos:

- hay un efecto positivo del manejo del concepto de transformación digital respecto del rol de CEO y de los indicadores de uso, adopción y apropiación de las tecnologías en los procesos;
- el índice no creció más probablemente por el escepticismo que sobre el futuro económico generaron las elecciones presidenciales de 2018, lo que hizo que la respuesta negativa a la pregunta sobre las previsiones de inversión en tecnología pasara de 70 % a 90 %;
- las universidades e instituciones educativas deben incrementar la cantidad y la calidad de contenido asociado con tecnología, pues los directivos no se sienten cómodos con sus colaboradores debido a que requieren demasiados cambios en su IQ digital para asumir los retos tecnológicos; y
- el origen de la presión para la transformación digital ha cambiado, en 2016 provenía de los clientes, en 2018, de la competencia.

Otero (2018), quien ha concentrado su experiencia profesional y académica en procesos de innovación y dirección en empresas de base tecnológica en el Valle del Cauca, percibe que las empresas a nivel del departamento que han comenzado procesos de transformación a I 4.0 son las que han comenzado a exportar, y lo han hecho porque su ingreso en ambientes competitivos las obliga a mejorar sus costos para poder sobrevivir.

Un estudio realizado por la consultora McKinsey indica que el crecimiento de los países desarrollados se explica: dos terceras partes por el aumento de la productividad y una por el aumento los factores productivos (Woetzel et al., 2016); sin embargo, en Colombia ocurre lo contrario, dos terceras partes se explican por el aumento de factores productivos y solo una tercera parte por la productividad.

... si yo reviso los factores productivos, la posibilidad de aumentar mucho más en productividad laboral se puede dar, pero es limitada. La posibilidad de aumentar la productividad del capital es muy limitada. Ya estamos en el 27% del PIB de inversión y es muy

difícil que el país aumente esa proporción. Puede seguir recibiendo inversión extranjera y debe hacerlo, pero no va a aumentar su productividad mucho más. La única forma de hacerlo, de crecer más, es aumentando los niveles de productividad del país. (Restrepo, 2018)

La industria manufacturera en Colombia es la cuarta rama económica que más contribuye al PIB (13%), sin embargo, no es la que ha contribuido al crecimiento. De hecho, es uno de los sectores que ha estado restando en el crecimiento (-1.3% en 2017). Como se indicó, los CTDE son la apuesta del Gobierno Nacional dentro del plan de desarrollo económico para el sector manufacturero, al acompañar y asesorar a las empresas de manera estratégica e integral, para que den el gran paso hacia la digitalización de sus procesos operacionales, pensando en el crecimiento de los negocios y en lograr una mayor eficiencia y productividad.

LA MULTINACIONAL DE TINTAS EN COLOMBIA

Los últimos cuatro años han sido desafiantes para la cadena de abastecimiento en la multinacional, particularmente para su subsidiaria en Colombia. La caída del precio del petróleo, la devaluación del peso frente al dólar, la caída de la impresión de revistas y periódicos a causa del movimiento a lo digital, la consolidación del centro de actividad en las mayores plantas madre (España y Alemania), la desactualización de las máquinas, el excesivo trabajo manual, y el envejecimiento y limitaciones de salud de la población de trabajadores están agregando restricciones externas adicionales a la desaceleración de la economía en el país (Hernández, 2017).

De acuerdo con la Multinacional de Tintas en Colombia [MTC], uno de los desafíos críticos de la subsidiaria es la reducción del costo asociado a elementos básicos en la fabricación. En hacer mejores productos o servicios y mantener las máquinas en funcionamiento tiene un lugar la Industria 4.0, indican. sin embargo, la escala de cambio percibida es demasiado abrumadora y el proceso sistémico de implementación no parece estar claro, por lo que surgen preguntas como: ¿En qué tecnologías invertir? ¿Existen un modo, una guía o filosofía que direcciona a la compañía para tomar decisiones de adaptación de las tecnologías? ¿Existe un estado del arte con el cual puedo comparar mi estado actual como empresa e iniciar un camino hacia esa adaptación a las tecnologías?

Por otra parte, la tecnología es costosa. Según el Global Entrepreneurship Monitor [GEM] (Carrillo et al., 2016), la economía colombiana presenta porcentajes mayores al 50 % en el uso de tecnología no actualizada o de más de cinco años en el mercado, tanto para las iniciativas que están despegando [*early-stage entrepreneurial activities*] como para las empresas establecidas, lo que sugiere que los empresarios pueden presentar dificultades en adelantar procesos de innovación.

Si se decide iniciar el proceso de modernización, es importante entender hasta qué nivel de interoperabilidad y conexión se llegará. Pero surgen como interrogantes ¿Cuál es la interoperabilidad mínima requerida entre personas, máquinas, áreas y/o datos? ¿Hasta qué nivel de involucramiento deben ir los líderes de la compañía que además son quienes deciden como fondear los proyectos? ¿Es necesario generar un área independiente a la operación de la compañía para liderar la transformación? ¿Debe ser parte, las iniciativas, de la agenda de la estrategia de la compañía?

Otro aspecto que debe ser tenido en cuenta son las personas involucradas en los procesos. Finalmente, quienes estarán frente a los diferentes cambios que esta revolución trae para la compañía, son las personas. Entonces, es obligatorio entender si la fuerza laboral existente es la fuerza laboral flexible que necesitan los sistemas de manufactura basadas en I 4.0 ¿Se requiere formación en el uso de las tecnologías para aumentar las habilidades y competencias de los trabajadores? ¿Cambiará la forma de hacer el trabajo (Banco de computadores o teletrabajo)? ¿Es el nivel de educación de los trabajadores adecuado para trabajar con estas iniciativas tecnológicas? Y finalmente, ¿Cuál es el perfil de las personas que utilizarán estas tecnologías o quiénes liderarán el cambio?

El rápido y emocionante crecimiento del concepto de sistemas de manufactura basados en I 4.0 ha hecho que las empresas que se han atrevido a adoptarlo ya sean capaces de ofrecer valor agregado por encima y más allá de sus competidores del mercado. Las preguntas enumeradas en el párrafo anterior no pretenden hacer que la MTC se aleje de la búsqueda del cambio necesario en sus procesos para su cadena de abastecimiento, sino enfocar la atención en la manera en que debe recorrerse el camino para planear y gestionar el cambio cultural y físico que conlleva el nuevo sistema de manufactura basado en I 4.0. La organización debe entonces identificar, no solo cómo implementarla, sino también cómo construir un sólido camino de “haceres” y establecer expectativas realistas para su implementación.

El objetivo general del trabajo de investigación es construir una propuesta que le permita a la subsidiaria de la multinacional en Colombia transformar su sistema de manufactura a uno basado en I 4.0. Con este fin, se definieron como objetivos específicos: identificar los diagnósticos de madurez y preparación desarrollados alrededor de sistemas de manufactura basado en I 4.0 y proponer uno ajustado; comparar el estado actual de la subsidiaria frente al diagnóstico de madurez y preparación propuesto para sistemas de manufactura basado en I 4.0; y proponer una hoja de ruta que le permita su transformación hacia un sistema de manufactura basado en I 4.0.

ESTUDIOS PREVIOS

En años pasados, se han realizado diferentes tipos de modelos de diagnóstico sobre I 4.0. Su problemática y resultados coinciden; son similares en su motivación y conclusiones; no varían significativamente entre sí.

Basl y Kopp (2017) querían entender si las empresas checas estaban interesadas en la cuarta revolución industrial y si estaban listas para esta tendencia. Más del 70% de aquellas empresas no trabajaban con manufactura basada en I 4.0 o no conocían el concepto. La relación entre el tamaño de la empresa y su nivel de preparación para la tendencia es directa. El desarrollo y uso de la tecnología es el nivel más maduro de las empresas; abordar I 4.0 desde la estrategia, es el más bajo. Lo anterior, sugieren los autores, se debe a que I 4.0 requiere una inversión de dinero considerable desde el principio y a que las empresas están mal informadas sobre los beneficios y el impacto de su implementación.

En Austria, Schumacher et al. (2016) tuvieron como objetivo obtener datos sólidos sobre el estado de las empresas manufactureras, sus estrategias de I 4.0 y la evaluación rigurosa de su propia madurez frente a I 4.0. Sus resultados demuestran que el desarrollo de una visión de la I 4.0 sigue siendo una tarea difícil. En Rumanía, Rennung et al. (2016), haciendo un acercamiento a las empresas de servicios en el marco del concepto I 4.0, analizaron la relevancia de la industria de servicios industriales. Su trabajo reveló que la empresas reconocen el concepto como un componente importante dentro de su gestión de servicios y les permitió concluir que debe diseñarse una perspectiva de I 4.0 para la gestión de servicios.

La necesidad de entender el estado actual de las empresas frente a sistemas de manufactura en I 4.0 se ligan a modelos europeos tales como: IMPULS–

Preparación de I 4.0 (2015); Habilidades y estrategias de implementación para la industria 4.0 (2016); La Industria 4.0 / Autoevaluación de Operaciones Digitales (2016); y I 4.0 Modelo de madurez (2015); y el Modelo de madurez de Connected Enterprise (2014) de los Estados Unidos de América [USA]. Las metodologías abordadas por cada uno de estos modelos difieren en aspectos generales –como el tamaño de la muestra y el tipo de industria–, y en la técnica utilizada, técnica que sugiere el tipo de información que se quiere obtener de dichos modelos.

Basl y Kopp (2017) desarrollaron un modelo que diagnostica: qué motiva a las empresas a iniciar en I 4.0, cómo controlan los cambios, cuáles son las tecnologías que utilizan, cómo gestionan los datos, cómo manejan su seguridad y cómo están preparados los empleados para la cuarta revolución industrial. Rennung et al. (2016), por su parte, proponen tres dimensiones de diagnóstico: personas (proveedores y usuarios); objetos (objetivo y características del servicio); y sistemas dinámicos en tiempo real (disponibilidad, grado y características de la posibilidad de soporte en el proceso de prestación de servicios).

Schumacher et al. (2016) definieron nueve dimensiones y les asignaron 62 ítems para evaluar la madurez de la I 4.0. IMPULS–Preparación de I 4.0 (2015) evalúa seis dimensiones en dieciocho ítems para indicar las barreras para avanzar. La Industria 4.0 / Autoevaluación de Operaciones Digitales (2016) evalúa seis dimensiones, mientras que el modelo de madurez de Connected Enterprise (2014) evalúa cuatro, y I 4.0 Modelo de Madurez (2015) tres dimensiones en trece ítems, para la indicación de madurez.

Hay otros esfuerzos que se han realizado como marco guía para la visión de la I 4.0 y la construcción de estrategias. Schumacher et al. (2016) proponen un modelo que encamina a las empresas en el desarrollo de sus objetivos de I 4.0, para cuya realización tomaron como base principalmente conceptos de coinnovación y hojas de ruta estratégicas.

El modelo tiene tres etapas: en Visión (*envision*), la primera, la empresa se familiariza con los conceptos generales de la visión de I 4.0 y alinea las ideas generales de I 4.0 con los objetivos específicos de la empresa y las necesidades de los clientes; Habilitar (*enable*), la segunda etapa, está dedicada a descomponer la visión de la I 4.0 a largo plazo en un modelo de negocio más concreto y en desarrollar estrategias principales para su implementación; la tercera etapa, Actuar (*enact*) tiene como objetivo transformar estrategias en proyectos concretos.

En España, Ganzarain y Errasti (2016), basados en el modelo de tres etapas de Schumacher et al., proponen un modelo como marco de referencia para la visión, la estrategia y la creación de acciones generales para la implementación de la I 4.0. Sugieren un modelo de proceso en etapas para guiar y capacitar a las empresas para identificar nuevas oportunidades de diversificación dentro de la I 4.0. Durante las tres etapas se desarrollan cinco niveles que van desde no tener una visión de I 4.0 hasta la transformación del modelo de negocio que se diagnostica, y sugiere acciones para avanzar de un nivel a otro.

MARCO TEÓRICO

Industria 4.0 es a menudo utilizado como el nombre de la cuarta revolución industrial. Se compone de la integración de instalaciones de producción, cadenas de suministro y sistemas de servicio para permitir el establecimiento de redes de valor agregado (Salkin et al., 2018). Desde un punto de vista técnico, puede ser descrito como la digitalización y automatización del ambiente manufacturero, así como la creación de una cadena de valor digital para permitir la comunicación entre los productos y el entorno (Lasi et al., 2014). Los principios básicos de I 4.0 son, por lo tanto, la conexión de máquinas, productos y sistemas. Representa un nuevo nivel de organización y control de la cadena de valor a lo largo de los ciclos de vida del producto. I 4.0 es la cuarta revolución industrial, la construcción colectiva en el marco de la automatización de las cosas o el último de los cambios drásticos de las condiciones de producción, distribución y consumo de bienes y servicios.

Aún no se termina de escribir, explorar y entender el significado de la manufactura esbelta (*lean manufacturing*) o manufactura de clase mundial (WCM, *World Class Manufacturing*) y ya las organizaciones están frente a esta ruptura del orden establecido en cómo se hace la manufactura. Sin embargo, la manufactura esbelta no se desvanece con I 4.0, por el contrario, sus principios se acentúan. Parece que esta cuarta revolución permitiera que la real manufactura esbelta tome vida. Es que finalmente, la manufactura esbelta es hacer más con menos.

I 4.0 rompe los esquemas de los modelos de negocio tradicionales; permite un entendimiento mayor de las necesidades de los clientes; establece comunicaciones más ágiles en la cadena de abastecimiento a través de la conexión de los sistemas; se acerca a la individualización de los productos; flexibiliza procesos y operaciones; busca la simplicidad mediante la estandarización de lenguajes

de programación, de manejo de información, de colección y normalización de datos; y promete la mezcla sistemática entre los datos y la inteligencia artificial para tomar decisiones más rápidas y mejores. Las fabricas inteligentes (*smart factories*) pueden finalmente producir más rápido y con menos desperdicio, tienen una mejor comprensión del funcionamiento de sus equipos y reducen radicalmente sus inventarios.

Cuando se piensa en una revolución industrial, se hace referencia a puntos de inflexión de la economía y a la forma cómo se concibe y cómo se crea riqueza. Para decirlo de una mejor manera, las revoluciones industriales han marcado puntos de inflexión en la productividad y esta cuarta no es solo un montón de elementos electrónicos conectados, es una revolución en la que se vivirá un cambio macroeconómico. Por ejemplo, las fábricas volverán a los mercados locales dado que los avances tecnológicos harán que el costo de producir en Asia, Europa o América no tenga diferencia. En el mercado de la personalización de los productos, el valor del tiempo y la cercanía con el cliente serán la norma; es así como las fábricas serán cada vez más pequeñas, estarán más cercanas al cliente y serán más ágiles. Los grandes *hubs* de las empresas ya nos serán importantes, la flexibilidad lo será.

La globalización cambiará su definición, la comercialización entre continentes se reemplazará con la comercialización entre los mismos continentes. Se producirá cada vez más cerca del consumidor final. Esta nueva manera de producción es más ecológica, más simple, más *lean*. En las grandes economías se verán las empresas regresar, se crearán más empleos, crecerá la economía y por ende la productividad, como lo dicta el hito de lo que llamamos revolución.

El reto de la industria –y de los gobiernos y sus políticas de desarrollo económico–, es entonces entender por dónde empezar. Muchos sentirán que un enfoque gradual para digitalizar sus negocios es la única forma viable de avanzar –y la más asequible–. Diversos esfuerzos se han realizado desde varias economías –como se mostró en la sección Introducción–, para abordar desde perspectivas comparables un plan estratégico que puede guiar a la industria hacia un resultado común. Es necesario un esfuerzo disciplinado que produzca decisiones y acciones fundamentales que generen una guía con la cual las industrias enfoquen sus acciones. Cada paso en este camino evolutivo se tendrá que desarrollar cuidadosamente para asegurar que las acciones tomadas estén bien planificadas y entregan resultados que infundan confianza y permiten convertirse en un negocio de I 4.0.

Además del de I 4.0, existen otros conceptos clave en el desarrollo de este proyecto. Ellos se describen a continuación.

- **IIoT.** La IoT industrial [*Industrial IoT*] puede ser descrita como la conexión entre los sistemas físicos y los sistemas distribuidos. Usando herramientas y dispositivos de comunicación, las máquinas pueden interactuar para alcanzar los objetivos propuestos. El Internet industrial se refiere a objetos inteligentes y redes inteligentes que permiten la integración física de los objetos en la red de manufactura o en la de los procesos de servicio. IIoT puede ser definido, según Shariatzadeh et al. (2016) como la conexión con Internet en las plantas de producción de todos los objetos físicos, la gente y los sistemas, creando un ambiente de manufactura inteligente. Haller et al. (2008) definen IIoT como un mundo donde los objetos físicos se convierten en participantes activos en el proceso productivo. Es así como IIoT está abriendo nuevas fronteras y generando el desarrollo de aplicaciones que buscan: optimizar procesos, optimizar el uso de los recursos y sistemas autónomos.
- **Robot colaborativo/adaptativo.** Como consecuencia de la combinación de microprocesadores y metodologías de Inteligencia Artificial [IA], los productos, máquinas y servicios se vuelven más inteligentes pues no solo cuentan con las capacidades de computación, comunicación y control, sino también con autonomía e interacción con humanos. Un robot colaborativo [cobot, *Collaborative Robot*] puede definirse como uno diseñado para servir a los seres humanos como guía o asistente en un movimiento restringido (Bi et al., 2008). Los cobots están destinados a la interacción directa con un humano, sus características les permiten a los operadores compartir el área de trabajo sin barreras físicas entre ellos y los robots. Los robots adaptativos son útiles en sistemas de fabricación con más variantes y tamaños de lote más pequeños, especialmente en las fases de diseño, fabricación y montaje (Wittenberg, 2015).
- **Manufactura aditiva.** Más conocida como impresión 3d, es el conjunto de tecnologías emergentes que producen objetos tridimensionales por medio de un proceso aditivo (por capas que se agregan varias veces hasta formar el elemento agregado) con materiales como polímeros, cerámicas o metales a partir de modelos digitales (CAD – mediante el diseño asistido por computadora).

- **Analítica.** Como consecuencia de la adopción de TIC para facilitar el flujo de información en las empresas, una gran cantidad de datos en tiempo real se acumulan desde múltiples fuentes. Los datos que se producen durante los procesos de investigación y desarrollo, producción, operaciones y mantenimiento aumentan a una velocidad exponencial. La captación de datos se realiza a través de sensores, PLC u otros dispositivos vinculados con el IoT o Bluetooth, Ultra-wideband u otro tipo de redes. Esos dispositivos recopilan información y la transmiten a un ordenador o servidor principal. En I 4.0, la integración y procesamiento de estos datos se aplica para mejorar de una manera rápida, fácil y escalable, el análisis de desempeño de las empresas basado en ese flujo de datos de máquinas y procesos que se encuentran en red. El análisis de todos estos datos puede aportar una ventaja competitiva significativa a aquellas empresas que pueden evaluar los procesos completos (Obitko & Jirkovský, 2015). Estos análisis se hacen mediante modelos de tratamiento de datos a través de la estadística y los algoritmos de IA o su transformación en información útil gracias a interfaces y software de visualización de datos. A la hora de hablar de analítica de datos se suele hablar de Big Data, pero cada vez más las empresas especializadas prefieren referirse a *smart data* [datos inteligentes]. La cantidad de datos que se puede capturar hoy en día es inmensa, sin embargo, de todos ellos solo unos pocos son valiosos y pueden ofrecer ventajas competitivas.
- **Simulación.** Antes de la aplicación de una nueva idea, cualquier sistema debe ser probado y sus deben considerarse cuidadosamente. Por lo tanto, diversos tipos de simulación que incluyen eventos discretos o simulación de movimiento 3D se pueden realizar en varios casos para mejorar la planificación del producto o proceso (Kuhn, 2006). Las simulaciones se pueden hacer en desarrollo, testeo y optimización de productos; desarrollo y optimización de procesos de producción y diseño; y en mejora de instalaciones.
- **Sistemas embebidos.** El término se refiere a la integración de la computación –un ambiente virtual–, con los procesos físicos. Los *Cyber Physical Systems* [CPS] es el término que se suele utilizar en los Estados Unidos para definir I 4.0. Según Illes et al. (2017), si un dispositivo electrónico contiene un control y una conexión de red, se le puede llamar CPS. La integración de estos CPS con producción, logística o servicios

da paso al concepto de sistemas ciberfísicos de producción [CPPS, *Cyber Physical Production Systems*], que hace referencia a: la integración, control y coordinación de procesos y operaciones; y la generación y el uso de datos desde y para los procesos, respectivamente. La integración de CPS con el entorno de fabricación permite la integración vertical y horizontal de los sistemas de telecomunicaciones y la interconexión entre toda la cadena de suministro. En general, un sistema embebido tiene dos requisitos principales: el nivel avanzado de redes para proporcionar tanto el procesamiento de datos en tiempo real desde la infraestructura física como la retroalimentación de la información desde la estructura digital; y el procesamiento inteligente de datos, la toma de decisiones y la capacidad computacional que soporta la infraestructura física.

- **Computación en la nube.** El término nube incluye computación en la nube y manufactura y diseño basados en la nube. La computación en nube se refiere al acceso, configuración y manipulación de software y hardware en una ubicación remota (Patidar et al., 2012); Buyya et al. (2009) la definieron como un tipo de sistema paralelo y distribuido que contiene un conjunto de computadoras interconectadas y virtualizadas que se aprovisionan dinámicamente y se presentan como uno o más recursos informáticos unificados basados en acuerdos de nivel de servicio establecido a través de la negociación entre el proveedor de servicios y los consumidores. De acuerdo con Mell y Grance (2011), la computación en la nube es un modelo que permite el acceso conveniente y bajo demanda a la red, a un conjunto compartido de recursos informáticos configurables que se pueden aprovisionar y lanzar rápidamente, con el menor esfuerzo de gestión o interacción del proveedor de servicios.
- **Virtualización.** Estas tecnologías se basan en herramientas de Realidad Aumentada [RA] y Realidad Virtual [RV] que permiten la integración de la reflexión asistida por computadora de un entorno del mundo real con información adicional y valiosa (Paelke, 2014). La información virtual se puede incluir en presentaciones del mundo real con el fin de enriquecer la percepción humana de la realidad con objetos y elementos aumentados (Syberfeldt et al., 2016); para este propósito, las aplicaciones de RV y RA asocian las interfaces gráficas con la visión del usuario del entorno actual.
- **RFID y RTLS.** *Radio Frequency ID* [RFID] es un concepto de comunicación de radio por ondas reflejadas que nació en 1945 en la Unión Soviética, para

dispositivos de espionaje (Nikitin, 2012), conocido también como principio de retrodispersión, explicado y publicado por Stockman (1948). RFID es hoy una aplicación inalámbrica muy conocida para la trazabilidad, logística y control de acceso y se convirtió en algo omnipresente en la industria y en la vida cotidiana. Por su parte los RTLS [*Real-Time Locating Systems*] son tecnologías que detectan la geolocalización de un objetivo, que puede ser cualquier cosa, desde un vehículo hasta un artículo en una planta de fabricación o una persona. La mayoría de estos sistemas consisten en nodos inalámbricos, generalmente etiquetas o distintivos, que emiten señales, y lectores que reciben esas señales. Los sistemas de ubicación en tiempo real actuales se basan en tecnologías inalámbricas, como Wi-Fi, Bluetooth, UWB, RFID y GPS (Rouse & DeBeasi, 2018).

- **Hoja de ruta.** El término generalmente describe un plan para el futuro, pero varía mucho en sus objetivos y estilos. Para Phaal et al. (2004) el proceso de hoja de ruta representa una técnica poderosa para respaldar la gestión y la planificación tecnológica, especialmente para explorar y comunicar interacciones dinámicas entre recursos, objetivos organizacionales y cambios ambientales. Muller (2018) describe que la hoja de ruta es una prospección que integra todos los aspectos relevantes del negocio (mercado, productos, tecnología, procesos y personas) teniendo en cuenta el tiempo. En esta investigación se ha adoptado como definición la de método flexible en el que el objetivo principal es ayudar a la planificación estratégica a lo largo del tiempo (Albright & Kappel, 2003; Kappel, 2001; Phaal et al., 2004).

DIAGNÓSTICO DE MADUREZ Y PREPARACIÓN DE I 4.0

Durante la primera fase del proyecto, se identificaron modelos actuales de implementación o aproximación a la I 4.0. La actividad se dividió en tres etapas: la reseña de los datos provenientes de fuentes académicas y documentos oficiales; su organización, resumen e interpretación; y la preparación de una tabla comparativa (TABLA 1) que resume lo hallado y es útil para dibujar las relaciones entre los conceptos y hallar coincidencias y particularidades.

Esta fase 1 es el fundamento sobre el cual se construyó la propuesta de hoja de ruta para la implementación de I 4.0 prevista en los objetivos. Un detalle de los modelos hallados se puede consultar en el trabajo de Viáfara (2018).

Tabla 1. Comparativo de modelos

Modelo	Dimensiones evaluadas	Criterios / Subcriterios	Nivel o etapa de madurez / preparación	Plan de acción	Alcance de la industria
IMPULS – Preparación de I 4.0 (Litchblau et al., 2015)	1. Estrategia y organización	Estrategia, inversión y manejo de la innovación.	0. Desconocido	Si	Manufactura e ingeniería
	2. Fábrica inteligente	Modelación digital, infraestructura, uso de los datos y sistemas TI	1. Principiante 2. Intermedio		
	3. Operaciones inteligentes	Uso de la nube, seguridad TI y proceso autónomo de datos compartidos	3. Experimentado		
	4. Productos inteligentes	Análítica de datos en la fase ICT de funcionalidades y adicionadas	4. Experto 5. Alto desempeño		
	5. Servicios basados en datos	Uso compartido de datos, presupuestos compartidos y servicios basados en datos.			
	6. Empleados	Adquisición de habilidades y lista de habilidades necesarias.			
I 4.0 modelo de madurez (Jobbauer & Schagel, 2015)	1. Datos	Big data, fuente abierta y seguridad	Niveles 1 a 10	Si	Toda la industria
	2. Inteligencia	Habilitadore y uso de inteligencia			
	3. Transformación digital	Empleados y manejo del cambio			
Modelo de madurez de I 4.0 (Schumachera et al., 2016)	1. Estrategia	No aplica	Niveles 1 a 5	No	Centrado en la industria manufacturera
	2. Liderazgo				
	3. Clientes				
	4. Productos				
	5. Operaciones				
	6. Cultura				
	7. Gente				
	8. Legal				
	9. Tecnología				

Tabla 1. Comparativo de modelos (continuación)

Modelo	Dimensiones evaluadas	Criterios / Subcriterios	Nivel o etapa de madurez / preparación	Plan de acción	Alcance de la industria
I 4.0: Construyendo la empresa digital (PWC 2016)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Modelos comerciales digitales y acceso de clientes 2. Digitalización de ofertas de productos y servicios 3. Digitalización e integración de cadenas de valor verticales y horizontales 4. Datos y análisis como capacidad central 5. Arquitectura de TI ágil 6. Cumplimiento, seguridad, legal e impositivo 7. Organización, empleados y cultura digital 	No aplica	Etapa 1: novicio digital / etapa 2: integrador / etapa 3: colaborador horizontal / etapa 4: campeón digital	Si	Toda la industria
Estudio Global de Operaciones Digitales- Campeones digitales (PWC 2018)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ecosistema de soluciones para el cliente 2. Ecosistema de operaciones 3. Ecosistema de la tecnología 4. Ecosistema de las personas 	No aplica	Etapa 1: novicio digital / etapa 2: seguidores digitales / etapa 3: innovadores digitales		
Modelo de madurez empresarial conectado (Rockwell Automation, 2016)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Infraestructura de información 2. Controles y dispositivos 3. Redes 4. Política de seguridad 	No aplica	No definido	Si	Enfocado en la capacidad de TI de las empresas.
Estudio de la preparación de las empresas para la I 4.0 - Caso Checo (Basl & Kopp, 2017)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Estrategia 2. Cambio e inversión 3. Tecnología 4. Datos e información 5. Empleados 	No aplica	Niveles 1 a 5	No	Toda la industria

Tabla 1. Comparativo de modelos (continuación)

Modelo	Dimensiones...	Criterios / Subcriterios	Nivel de ...	Plan...	Alcance...
Empowered and implementation strategy for industry 4.0 (Lanza et al., 2016)	1. Productos	Integración de sensores / actuadores Comunicación / Conectividad Funcionalidades para el almacenamiento de datos y el intercambio de información Supervisión	Niveles 1 a 5	Si	Industria de la ingeniería mecánica
	2. Producción	Servicios de TI relacionados con el producto Modelos comerciales alrededor del producto Procesamiento de datos en la producción Comunicación máquina a máquina (M2M) Redes de toda la empresa con la producción Infraestructura de TIC en producción Interfaces de Hombre-Maquina Eficiencia con lotes pequeños		No	Toda la industria
Herramienta de evaluación de preparación industrial 4.0 (Universidad de Warwick, 2018)	1. Productos y servicios	Personalización de productos, características de productos digitales, servicios basados en datos, uso de datos de productos y participación en los ingresos	1. Principiante 2. Intermedio 3. Experimentado 4. Experto	No	Toda la industria
	2. Fabricación y operaciones	Integración tecnológica, lugar de trabajo autónomo, capacidad de datos y recursos.			
	3. Estrategia y organización	Grado de implementación de la estrategia, medición, inversiones, capacidades de las personas, colaboración, liderazgo y finanzas			
	4. Cadena de suministro	Control de inventario mediante: la gestión de datos en tiempo real; la integración, visibilidad y flexibilidad de la cadena de suministro; y los plazos de entrega			
	5. Modelo de negocio	Modelo de negocio <i>as a service</i> , decisiones basadas en datos, seguimiento en tiempo real, programación automatizada en tiempo real, canales de marketing integrados y negocio respaldado por TI			
	6. Consideraciones legales	Modelos de contratación, riesgo, protección de datos y propiedad intelectual			

MODELO PROPUESTO

Para facilitar diferentes análisis de madurez de I 4.0, el modelo propuesto incluye un total de trece campos asociados que se agrupan en tres dimensiones. En la TABLA 2 se proporciona una descripción general de las dimensiones y el conjunto de los campos asociados relacionados con la I 4.0, para apoyar la comprensión.

Tabla 2. Modelo de madurez y preparación propuesto I 4.0

Dimensión	Subdimensión	Campos asociados
Estrategia y organización		Asociaciones estratégicas
		Modelos comerciales
		Inversiones tecnológicas
		Finanzas inteligentes
		Estructura organizativa y liderazgo.
Procesos de negocio inteligentes	Producción y operaciones inteligentes	Producción, logística y aprovisionamiento I + D + desarrollo de productos
	Operaciones inteligentes de marketing y ventas	Servicio postventa
		Precio / promoción
	Operaciones de apoyo	Ventas y distribuciones
Productos y servicios inteligentes		RR.HH
		TIC
		Productos y servicios inteligentes

La estrategia y organización constituyen el principal “insumo” para la transformación de I 4.0. Para que I 4.0 se arraigue es esencial que la gerencia adopte primero y, sobre todo, que practique tales conceptos. I 4.0 es más que simplemente mejorar los productos o procesos existentes mediante el uso de tecnologías digitales, en realidad ofrece la oportunidad de desarrollar modelos comerciales completamente nuevos y de desarrollar nuevos productos inteligentes, servicios basados en datos y operaciones comerciales inteligentes. Para encontrar respuestas, observamos los siguientes campos asociados: estado de implementación de la estrategia I 4.0; actividad de inversión relacionada con I 4.0; uso de la tecnología y la gestión de la innovación; y alianzas para alcanzar objetivos estratégicos.

Los procesos de negocio inteligentes se forman como una dimensión que contiene las operaciones funcionales de las empresas, para evaluar su nivel de madurez con respecto de los principios de I 4.0 y las tecnologías de activación. La integración de todos los componentes y sistemas dentro de una empresa es un componente esencial en la realización de I 4.0 y la base para la integración horizontal y vertical de la cadena de valor.

La idea central detrás de la cadena de valor horizontal integrada es la interconexión de todos los socios de la cadena de valor interna y externa, desde el proveedor hasta el cliente. La integración vertical describe la integración dentro de una empresa: desde las ventas hasta el desarrollo del producto, y desde la planificación del producto hasta la producción y, en última instancia, la posventa. Esta integración de los sistemas de producción ofrece un amplio rango de potencial para mejorar la productividad, la calidad y la flexibilidad (Geissbauer et al., 2014).

Las decisiones sobre priorización e implementación del procesamiento de pedidos en la cadena de valor se basan en el análisis de datos, por eso es tan importante para la I 4.0 la recopilación, el análisis y la utilización de datos (Accenture & GE, 2014).

En los procesos de negocios inteligente los sistemas de producción, logística y administración se comunican directamente con los sistemas de TI superpuestos (o sistemas MES, ERP, SCM) y con los productos inteligentes. Además, las empresas necesitarán empleados con los conocimientos y capacidades digitales correctas para convertir la estrategia en acciones y de la inversión en tecnología en información apropiada para tomar decisiones

La preparación de I 4.0 en el área de procesos de negocio inteligentes se determina tomando como criterios: intercambio de información, uso de la nube, seguridad informática, procesos autónomos, modelado digital, infraestructura de equipos, uso de datos, sistemas de TI y habilidades de los empleados.

Por último, los productos y servicios inteligentes pueden hacer cálculos, almacenar datos y participar en una interacción con su entorno y proporcionar información sobre su identidad, propiedades, estado e historial (Schmidt et al., 2015). Estas características crean la oportunidad de obtener datos de productos e interpretar datos para ofrecer servicios. Los procesos de negocios inteligentes necesitan saber qué producto está en qué ubicación en producción para comunicar el estado de la orden en tiempo real. Los fabricantes de equipos

necesitan información extensa sobre cuánto tiempo y qué tan intensamente se usa un equipo para ofrecer a los clientes un plan de mantenimiento predictivo basado en el uso real. Estos escenarios requieren el uso de productos inteligentes: objetos físicos equipados con tecnología. Esto los hace únicos e identificables, por lo que pueden interactuar con su entorno, registrar su entorno y estado a través de sensores, además de ofrecer varias funcionalidades complementarias (Deindl, 2013).

Los criterios de evaluación del modelo de madurez se basan en los principios y las tecnologías de I 4.0 para cada campo asociado. Estas tecnologías se basan en la selección realizada en el marco teórico. Los principios son: gestión de datos en tiempo real; colección, procesamiento, análisis, inferencia; interoperabilidad; virtualización; descentralización; agilidad; servicio orientado; procesos de negocios integrados. Las tecnología son: robótica colaborativa; análisis de datos e inteligencia artificial; simulación; sistemas embebidos; IIoT; seguridad cibernética; nube; fabricación aditiva; tecnologías de virtualización; sensores y actuadores; tecnologías RFID y RTLS; y tecnologías móviles. Para calificar la madurez de I 4.0 se utilizan los cuatro niveles descritos en la TABLA 3. Cada campo asociado en este modelo de madurez se califica con preguntas de la encuesta relacionadas de 0 a 3 puntos; para determinar el nivel de madurez general, los valores límite para cada nivel se muestran en la TABLA 4.

Los puntos calculados de los campos asociados se agrupan bajo subdimensiones y estas bajo las dimensiones para identificar los niveles de madurez individualmente y en general. Los niveles de madurez se calculan mediante las ecuaciones (1), (2) y (3), donde: M es el nivel de madurez, D la dimensión, A el campo asociado, Q el número de pregunta, O el nivel final, n el número de preguntas totales y m el número de campos asociados.

$$M_{DAi} = \frac{\sum_{j=1}^n Q_{Aij}}{n} \quad (1)$$

$$M_D = \frac{\sum_{i=1}^m M_{DAi}}{m} \quad (2)$$

$$M_0 = \text{MIN}(M_1, M_2, M_3) \quad (3)$$

Los niveles de madurez de “productos y servicios inteligentes”, “negocios inteligentes” y “estrategia y organización” se explican en las TABLAS 5, 6 y 7.

Tabla 3. Niveles de madurez de una empresa

Nivel	Descripción
0. Ausencia	No cumple ninguno de los requisitos de I 4.0 o algunos de ellos están en bajo nivel.
1. Existencia	Tiene algunas iniciativas piloto en sus departamentos funcionales; sus productos no son totalmente inteligentes; sus procesos comerciales están a nivel medio en términos de integración, datos (compartir/recolectar/usar) y agilidad, no son suficientes para realizar una transformación a I 4.0; las tecnologías digitales y de la nube no se han implementado en todas las operaciones; los equipos de infraestructura se encuentran en un nivel bajo y la alta dirección está considerando implementar la estrategia I 4.0 con inversiones en pocas áreas; hay iniciativas piloto para generar modelos de negocios o transformar el actual; la estructura organizacional no es lo suficientemente adecuada.
2. Supervivencia	Sus productos son capaces de administrar datos en tiempo real y de realizar un seguimiento a través de diferentes lugares; su oferta de servicios basados en datos está en nivel medio; sus procesos comerciales están a nivel medio en términos de integración, datos (compartir/recolectar/usar) y agilidad; sus procesos están listos para descentralizarse y e implementa el principio de interoperabilidad en algunas de sus áreas, con el soporte de tecnologías digitales; la alta dirección está desarrollando planes para la I 4.0 y ha realizado inversiones en algunas áreas; ha considerado nuevas oportunidades de negocios a nivel medio y ha creado alianzas con otras compañías o académicos; su estructura organizativa es adecuada para proyectos iniciales de I 4.0 y se están generando nuevos modelos comerciales.
3. Madurez.	Sus productos se definen como servicios inteligentes basados en datos. Sus procesos comerciales están en alto nivel en términos de integración, datos (compartir/recolectar/usar) y agilidad; la gran mayoría de sus procesos se puede descentralizar; el principio de interoperabilidad se implementa en muchas de sus áreas, con el apoyo de avances de las tecnologías digitales; su equipo de liderazgo proporciona un amplio soporte para I 4.0; ha realizado inversiones para casi todos los departamentos; su estructura organizativa es adecuada para gestionar la transformación en toda la empresa; está creando muchas asociaciones con compañías, académicos, proveedores y proveedores de tecnología; los modelos comerciales digitales están integrados a sus modelos comerciales actuales y se están generando ingresos a partir de estos modelos.

Tabla 4. Límites para determinar un nivel de madurez

Nivel de madurez	Límites	
	Bajo	Altos
0. Ausencia	0.00	0.90
1. Existencia	0.90	1.80
2. supervivencia	1.80	2.70
3. Madurez	2.70	3.00

Tabla 5. Requisitos de nivel de madurez de los productos y servicios inteligentes

Campos asociados	0. Ausencia	1. Existencia	2. Sobrevivencia	3. Madurez
Comunicación	<ul style="list-style-type: none"> - No cumple con ninguno de los requisitos de I 4.0 - Algunos de los requisitos son de bajo nivel. 	<ul style="list-style-type: none"> - Los productos de la compañía son capaces de comunicarse con otros productos / plataformas, máquinas y sistemas externos, así como de recopilar datos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Los productos de la compañía son capaces de comunicar y recopilar datos y pueden mantener los datos que recopilan en su sistema o en la nube. 	<ul style="list-style-type: none"> - Los productos de la empresa se pueden comunicar con otros sistemas, recopilando datos y manteniéndolos en su sistema o en la nube.
Trazabilidad	<ul style="list-style-type: none"> - No cumple con ninguno de los requisitos de I 4.0 - Algunos de los requisitos son de bajo nivel. 	<ul style="list-style-type: none"> - Los productos pueden rastrear a medida que se mueven entre los sitios de fabricación y distribución interna. 	<ul style="list-style-type: none"> - El producto puede realizar análisis descriptivos, diagnósticos y de datos predictivos. - Los productos pueden rastrear a medida que se mueven entre la fabricación y la distribución hasta que llegan a los clientes DC. 	<ul style="list-style-type: none"> - El producto puede realizar análisis de datos descriptivos, diagnósticos, predictivos y prescriptivos - Los productos pueden ser rastreados a lo largo de su ciclo de vida completo
Uso data	<ul style="list-style-type: none"> - No cumple con ninguno de los requisitos de I 4.0 - Algunos de los requisitos son de bajo nivel. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se ofrecen servicios / información sólo para su empresa basados en los datos obtenidos del producto. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se ofrecen servicios / información para su empresa y clientes basados en los datos obtenidos del producto. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se ofrecen servicios / información para su empresa, clientes y socios basados en los datos obtenidos de las mejoras del producto.

Tabla 6. Requisitos de nivel de estrategia y organización

Campo asociado	0. Ausencia	1. Existencia	2. Supervivencia	3. Madurez
Finanzas inteligentes	No cumple con ninguno de los requisitos de I 4.0 / Algunos requisitos son de bajo nivel.	La automatización de los servicios financieros se realiza a bajo nivel y el análisis generalmente se basa en datos históricos.	La automatización de los servicios financieros se realiza a nivel medio y el análisis generalmente se basa en datos históricos.	La automatización de los servicios financieros es de alto nivel y el análisis generalmente se basa en datos en tiempo real.
Modelos comerciales	No cumple con ninguno de los requisitos de I 4.0 / Algunos requisitos son de bajo nivel.	Los productos y servicios existentes no son compatibles con el modelo de negocio digital, que es compatible con recursos de bajo nivel	Los productos y servicios existentes son compatibles con los modelos comerciales digitales que se respaldan con recursos a nivel medio	Los productos y servicios existentes son compatibles con los modelos comerciales digitales que se respaldan con recursos de alto nivel
Asociaciones estratégicas	No cumple con ninguno de los requisitos de I 4.0 / Algunos requisitos son de bajo nivel.	La empresa tiene asociaciones con algunas partes interesadas y lanzó iniciativas piloto. El equipo de liderazgo está investigando los beneficios potenciales	La empresa tiene alianzas con algunos de los interesados y se formula una estrategia. El equipo de liderazgo reconoce los beneficios financieros y los planes para invertir	La compañía tiene una asociación con muchas partes interesadas y la estrategia se implementa o se implementa. Soporte generalizado para I 4.0 dentro del liderazgo y en todo el negocio en general

Tabla 6. Requisitos de nivel de estrategia y organización (continuación)

Campos asociados	0. Ausencia	1. Existencia	2. Sobrevivencia	3. Madurez
Inversiones tecnológicas	No cumple con ninguno de los requisitos de I 4.0 / Algunos requisitos son de bajo nivel.	La compañía asignó un bajo nivel de presupuesto a las tecnologías y está planificando inversiones en pocas operaciones funcionales; el análisis costo / beneficio no se realiza	La empresa asignó un nivel medio de presupuesto a las tecnologías y las inversiones se realizan en algunas de las operaciones funcionales; se llevan a cabo análisis costo / beneficio anuales.	La compañía asignó un alto nivel de presupuesto a las tecnologías e invirtió en casi todas las operaciones funcionales; se realizan análisis costo / beneficio trimestrales.
Estructura organizativa y liderazgo	No cumple con ninguno de los requisitos de I 4.0 / Algunos requisitos son de bajo nivel.	La estructura organizacional no es adecuada para la transformación	La estructura organizacional es adecuada para proyectos iniciales	La organización está bien estructurada para la transformación
		Solo las áreas enfocadas en tecnología tienen empleados con habilidades digitales que no están asignados a proyectos específicos de I 4.0	En la mayoría de las áreas de negocios, las habilidades digitales están bien desarrolladas y se asignan a proyectos específicos de I 4.0 en diferentes unidades.	En todo el negocio, las habilidades digitales y analíticas de vanguardia prevalecen y se asignan a proyectos específicos de I 4.0 en las mismas unidades.
		Los departamentos centrales de TI existen en la compañía; no hay ningún entorno de trabajo donde las unidades de OT / TI trabajen juntas.	Los departamentos de TI locales existen en cada área; hay un ambiente de trabajo donde las unidades de OT / TI trabajan juntas	Expertos en TI adscritos a cada departamento; hay un ambiente de trabajo donde las unidades de OT / TI trabajan juntas.
		Hay una interacción limitada entre los departamentos.	Los departamentos están abiertos a la colaboración entre empresas	Los departamentos están abiertos a la colaboración entre empresas para impulsar mejoras.

Tabla 7. Requisitos de nivel de madurez de los procesos de negocio inteligentes

Campos asociados	1. Existencia	2. Supervivencia	3. Madurez
Producción, logística y aprovisionamiento	Los procesos de la cadena de suministro están integrados entre la empresa, los proveedores y los clientes, en términos de intercambio de datos básicos y comunicaciones.	Los procesos de la cadena de suministro están integrados entre la empresa, los proveedores y los clientes estratégicos clave en términos de transferencia de datos.	Los sistemas de cadena de suministro están completamente integrados entre la empresa, los proveedores y los clientes, lo que proporciona una planificación en tiempo real.
	Hay algunos sistemas de software en uso y los sistemas de producción están parcialmente automatizados a nivel de máquina.	Hay algunos sistemas de software en uso y los sistemas de producción están completamente automatizados a nivel de máquina o parcialmente automatizados a nivel de línea / celda	Hay muchos sistemas de software en uso y los sistemas de producción están exactamente automatizados en la línea de producción / nivel celular o parcialmente automatizados en el nivel de fábrica.
	La trazabilidad del proceso de operación se proporciona a nivel de la máquina (parcial) en el entorno digital y la visibilidad de extremo a extremo y la personalización de producción está a bajo nivel.	La trazabilidad del proceso se proporciona a nivel de línea/celda de producción en el entorno digital y la visibilidad de extremo a extremo y la personalización de producción es a nivel medio.	La trazabilidad del proceso de operación se proporciona a nivel de fábrica en el entorno digital y la visibilidad de extremo a extremo y la personalización de producción está en un nivel alto.
I + D + Desarrollo de productos	El uso de datos en el desarrollo de nuevos productos es de bajo nivel. La capacidad de fabricación y los términos de uso del producto se simulan durante el desarrollo del producto a bajo nivel	El uso de datos en el desarrollo de nuevos productos es de medio nivel. La capacidad de fabricación y los términos de uso del producto se simulan durante el desarrollo del producto a nivel medio	El uso de datos en el desarrollo de nuevos productos es de alto nivel. La capacidad de fabricación y los términos de uso del producto se simulan durante el desarrollo del producto a alto nivel.
Servicio de posventa	En el proceso de servicios posventa, la empresa se beneficia de pocos datos y ofrece servicios en algunas áreas.	En el proceso de servicios posventa, la empresa se beneficia de algunos datos y ofrece servicios en áreas.	En el proceso de servicios de posventa, la empresa se beneficia de una gran cantidad de datos y ofrece servicios en un amplio rango.
	Se realizan algunos estudios de análisis y los datos obtenidos del entorno no se utilizan en precios de productos y precios dinámicos.	Los estudios de análisis se llevan a cabo y los datos obtenidos del entorno se utilizan en precios de productos y precios dinámicos.	Se realizan estudios de análisis y los datos obtenidos del entorno se utilizan en precios de productos y precios dinámicos.

Tabla 7. Requisitos de nivel de madurez de los procesos de negocio inteligentes (continuación)

Campos asociados	1. Existencia	2. Supervivencia	3. Madurez
Ventas y distribuciones	<p>Los sistemas de campaña y los canales de ventas tienen una integración de bajo nivel y las herramientas de análisis de datos no se usan para medir el rendimiento de las campañas.</p>	<p>Los sistemas de campaña y los canales de ventas tienen una integración de nivel medio y las herramientas de análisis de datos se utilizan para medir el rendimiento de las campañas.</p>	<p>Los sistemas de campaña y los canales de ventas tienen una integración de alto nivel y se utilizan herramientas de análisis de datos. Las herramientas de análisis se usan para medir el rendimiento de las campañas.</p>
RR.HH	<p>La integración de los canales de comunicación y la colaboración con los socios se encuentran en un nivel bajo. En las operaciones de RRHH, los datos se usan en algunas áreas, pero la compañía no comparte datos en tiempo real con los trabajadores de campo; el aprendizaje electrónico no es una opción.</p>	<p>La integración de los canales de comunicación y la colaboración con los socios se encuentran en un nivel medio. En las operaciones de RR.HH se usa sata en algunas áreas; la compañía comparte datos en tiempo real con los trabajadores de campo; el e-learning es una opción.</p>	<p>Integración de canales de comunicación y colaboración con socios de alto nivel. En las operaciones de RR.HH, los datos se usan en muchas áreas, la compañía comparte datos en tiempo real con los trabajadores de campo; el e-learning es una opción.</p>
TI	<p>Las soluciones de seguridad de TI están planificadas o en proceso para datos a través de servicios en la nube. Los paneles de TI no están en uso y las máquinas / sistemas se pueden controlar a través de TI hasta cierto punto.</p>	<p>Las soluciones de seguridad de TI están en progreso o implementadas en términos de comunicaciones para el intercambio interno de datos. Los paneles de TI están en uso y las comunicaciones de máquina a máquina están disponibles.</p>	<p>Las soluciones de seguridad de TI se implementan para el intercambio de datos con socios comerciales. Los paneles de TI están en uso y el principio de interoperabilidad se aplica por completo.</p>
	<p>Las tecnologías desecadenantes – tecnologías móviles y de virtualización, nube–, no están en uso.</p>	<p>Las tecnologías de desecadenamiento están en uso.</p>	<p>Las tecnologías de desecadenamiento están en uso.</p>
	<p>Las tecnologías de activación – impresoras 3D, nube, tecnologías móviles y virtuales, etc.– se utilizan a bajo nivel.</p>	<p>Las tecnologías de activación se están utilizando a nivel medio</p>	<p>Las tecnologías de activación se están utilizando a alto nivel.</p>

PILOTO EN LA SUBSIDIARIA DE LA MULTINACIONAL

La multinacional de tintas donde se realizó el estudio es una empresa del sector industrial que opera en dos ciudades de Colombia y cuenta con más de doscientos empleados y ventas superiores a cincuenta mil millones de dólares en 2017. Bajo los parámetros de la Ley 905 de 2004 es formalmente una empresa grande.

Durante el estudio se aplicó un cuestionario (ver anexo) a ocho personas de seis áreas funcionales de la empresa. La recopilación de las respuestas se realizó entre abril y julio de 2018. Se efectuó una reunión previa con las personas de los perfiles seleccionados para invitarlos a participar. La encuesta fue cara a cara y cada uno de los participantes respondió la parte que diagnosticaba su campo asociado. El detalle de los participantes y de la manera como se distribuyeron los campos asociados se presenta en la TABLA 8. Los puntajes relacionados con los campos y dimensiones relevantes se calcularon de acuerdo con las ECUACIONES 1 a 3. Las puntuaciones para los diferentes campos asociados se muestran en las FIGURAS 1 y 2.

De acuerdo con estos resultados, la empresa está en el nivel 0 (ausencia) respecto a la madurez de la I 4.0, pues de acuerdo con la Ecuación 3, el nivel

Tabla 8. Encuestados por campo asociado

Participante	Campo asociado
Analista de Tecnologías de la Información	Tecnologías de la Información
Director de Recursos Humanos	RR.HH
Director de Operaciones	Estructura organizativa y liderazgo
Director de Ventas	Canales de venta y distribución Fijación de precios / promoción Modelos comerciales
Director del Departamento Técnico	Desarrollo de productos (I+D) Productos y servicios inteligentes
Director de la Cadena de Abastecimiento	Servicios posventa
Coordinador de Mantenimiento	Producción, logística y adquisición
Gerente de Finanzas	Asociaciones estratégicas Finanzas inteligentes Información general Inversión en tecnología

Hoja de ruta para la implementación de un sistema de manufactura basado en industria 4.0

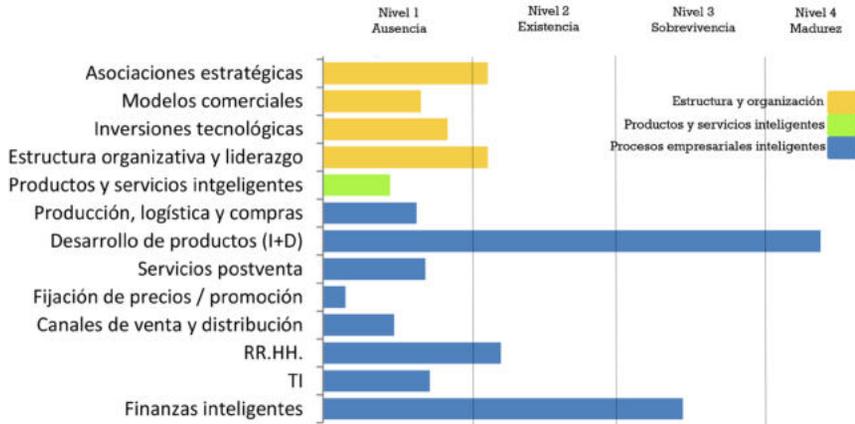


Figura 1. Nivel de madurez / campo asociado

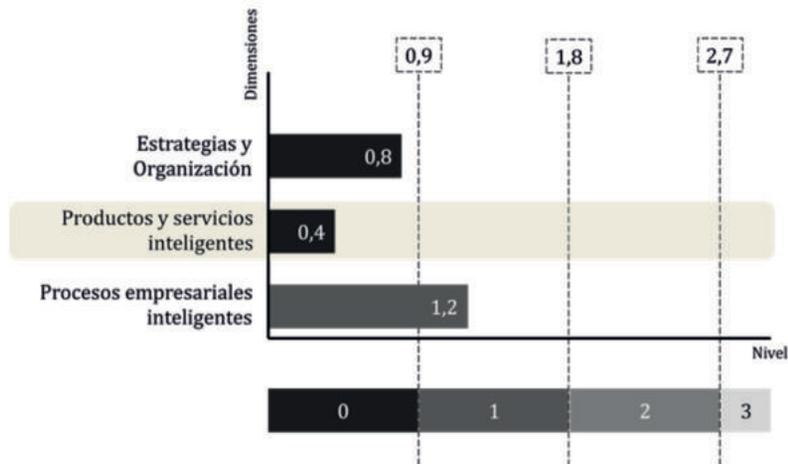


Figura 2. Nivel de madurez / dimensión

de madurez general está determinado por el nivel mínimo de madurez de las dimensiones, el cual en este caso corresponde a la dimensión “productos y servicios inteligentes” (0.4), como se aprecia en la FIGURA 2. Los principales hallazgos de la aplicación del instrumento de investigación, se describen a continuación.

SE TRANSFORMA EL PROCESO / SE PROCESA EL MISMO PRODUCTO

La empresa exhibe el nivel más bajo de preparación de I 4.0 en la dimensión de los productos y servicios inteligentes. La estrategia para I 4.0 y los procesos empresariales inteligentes están en niveles mayores de madurez, lo que pone en evidencia que está avanzando en la transformación de sus procesos y sus personas para fabricar el mismo producto. I 4.0 es más que simplemente mejorar los procesos de fabricación e información interna existentes mediante el uso de tecnologías digitales (FIGURA 3).

En realidad, I 4.0 ofrece la oportunidad de desarrollar modelos comerciales completamente nuevos. Los productos que comercializa la empresa permiten que la competencia con otros similares sólo se base en costo del producto o en el servicio (velocidad de respuesta). La empresa aún no ha descubierto el potencial de los servicios basados en datos (para proveedores y clientes) y, de hecho, la alta gerencia no tiene conciencia del concepto “... as a Service (XaaS) / Service as a Product (SaaP)” (pregunta 10), por lo tanto, no ofrece ninguna cartera de ese tipo (pregunta 9). El tipo de producto que fabrica la compañía (tintas en diferentes tipos de empaque) y el alto nivel de procesos manuales presentes en su fabricación, explican el bajo nivel de la comunicación del producto con los equipos, las maquinas, los sistemas y los otros procesos.

A modo de ejemplo, mantenimiento es un área que se podría ver beneficiada por los productos inteligentes. El mantenimiento predictivo, que utiliza



Figura 3. Dimensión productos y servicios inteligentes

algoritmos predictivos basados en los datos que genera el producto, optimiza los programas de reparación y mantenimiento para mejorar el tiempo de utilización de los activos. Un producto inteligente piensa por sí mismo y sigue en contacto con la empresa, incluso, después de vendido y esa información puede ser utilizada para ofrecer nuevos servicios o agregar valor al modelo de servicio actual. La empresa, entonces, no puede monetizar los datos para ninguna de las dos alternativas anteriores (pregunta 13).

I 4.0: DEL DICHO AL HECHO

I 4.0 no es un plan a futuro de la empresa (pregunta 25). Los directivos conocen el concepto y ahora se están planeando proyectos piloto en varias áreas de la compañía (pregunta 4), no obstante, no se cuenta con una estrategia clara para su implementación. Lo anterior reafirma la hipótesis planteada: no existe una estrategia de implementación de I 4.0 (pregunta 5).

Los encuestados esperan proponer desde Colombia productos y servicios digitales y tecnologías que hagan más eficientes los procesos. Sin embargo, la iniciativa no tiene ningún tipo de indicador de gestión que permita el seguimiento al avance de su implementación en la empresa (pregunta 7) y tampoco han considerado unirse a ninguna asociación académica, gubernamental, proveedor o cliente que les ayude en el camino de transformación (pregunta 6), porque desconocen qué entidades en Colombia trabajan para la I 4.0 y cómo ellas les pueden ayudar.

En el pasado las grandes inversiones en tecnología se realizaron por iniciativa de la corporación, pero se necesitan tecnologías nuevas y frecuentemente innovadoras para digitalizar los procesos de producción actuales y equipar a los productos con las nuevas funcionalidades complementarias basadas en TI que los conviertan en productos inteligentes.

La compañía reconoce una inversión baja para la implementación de proyectos I 4.0 (pregunta 15). Los principales beneficiarios de estas inversiones han sido la cadena de abastecimiento (producción, logística y compras), el servicio postventa y finanzas. Sin embargo, la inversión realizada en las dos primeras áreas no ha sido suficiente para elevarlas a un nivel de 1 (existencia). La inversión se mantendrá baja y se piensa expandir a las áreas de investigación y desarrollo, informática y recursos humanos (RR.HH). Aunque la empresa sí usa tecnología, esta es común y antigua: computación en la nube, RFID, RTLS y tecnologías móviles.

Lo anterior muestra que los líderes de la empresa conocen el concepto de I 4.0 y desean iniciar proyectos relacionados con él, pero están lejos de incrustarlo en la estrategia empresarial y en la cultura.



Figura 4. Bajo involucramiento con I 4.0

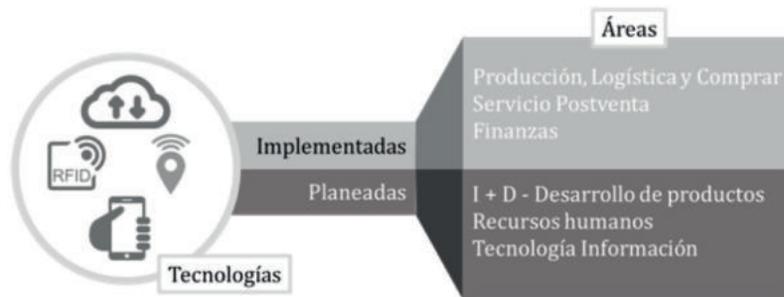


Figura 5. Tecnologías que impulsan la I 4.0: planeadas / implementadas

LA GENTE ES EL CENTRO DE LA TRANSFORMACIÓN A I 4.0

El mayor desafío cuando se realiza un cambio son las personas. Los empleados son los más afectados por los cambios en una transformación de I 4.0. Su lugar de trabajo se altera directamente y el éxito de esta transición depende en gran medida de cuán bien se definen, lideran y comunican las transformaciones. He ahí la importancia para las compañías de preparar a sus empleados

con el apropiado entrenamiento y la continua educación. El éxito de una transformación depende de las habilidades de los empleados que implementan los procesos y servicios que están siendo cambiados. La disrupción radical no siempre es cómoda para las personas que la hacen posible, por lo que la gestión del cambio es fundamental.

La encuesta dice que el campo asociado “recursos humanos” se encuentra en el nivel 1 (existencia), lo que lo convierte en el tercero con nivel más alto de madurez. Esto se debe a que la empresa reconoce la necesidad de implementar una estrategia que cambie la falta de cultura y habilidades digitales en los empleados, pensando en la implementación de I 4.0. La empresa necesita desarrollar una cultura digital robusta, necesita atraer, retener y capacitar nativos digitales y otros empleados que se sientan cómodos trabajando en un entorno tecnológico (pregunta 65).

La empresa sabe que debe asegurar que las personas comprendan cómo está cambiando la empresa y cómo pueden ser parte de ese cambio, pero aún no sabe cómo hacer dicho acercamiento (pregunta 66); de hecho, la compañía no cuenta con una estructura organizativa para la identificación temprana, la planificación y el control de nuevas tecnologías ni para monitorear su uso (pregunta 26). Actualmente, esto se hace por separado para desarrollo de productos, producción y TI (pregunta 24). Además, lo realizan sólo las personas que dirigen cada área y sólo quienes pertenecen a TI tienen conocimiento sobre temas relacionados con I 4.0 (pregunta 23). La falta de habilidades o competencias en la fuerza de trabajo de la empresa es un desafío. Sólo las



Figura 6. Campo asociado recursos humanos

funciones que dependen de TI son las más avanzadas, pero en general existe una falta de cultura y habilidades digitales en las otras áreas de la compañía (pregunta 21).

CADENA DE SUMINISTRO Y OPERACIONES DE APOYO EN EL CENTRO DE LA VISIÓN DE I 4.0

Cuando se habla de alcanzar una madurez en I 4.0 la mayoría de los procesos y sistemas comerciales deben digitalizarse por completo. La empresa ha empezado a implementar tecnología en su cadena de suministro para mejorar la visibilidad y derribar los muros entre las diferentes áreas, sin embargo, apenas logra alcanzar el nivel 1 (existencia). La tecnología en I 4.0 tiene una visión ambiciosa y de largo alcance y la empresa escasamente empieza a ver la necesidad de su implementación (las tecnologías utilizadas por la empresa se presentan en la FIGURA 7).

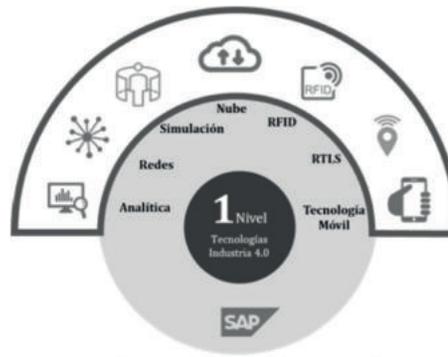


Figura 7. Tecnologías I 4.0

I 4.0 visualiza productos totalmente personalizados, que se producen de forma autónoma en fábricas que se auto-optimizan, un entorno donde lo ciber y lo físico son uno, un ambiente habilitado para la IoT que permite la recopilación de datos. Pero la empresa está aún lejos de esa visión, a pesar de que el nivel de personalización por parte del cliente es posible (pregunta 46), esa personalización no se puede traducir en la producción (pregunta 35); no se pueden realizar lotes pequeños y cumplir con la personalización del cliente porque ello implica altos niveles de desperdicio en materiales, ineficiencias de equipos o altos inventarios. Por otro lado, el nivel de automatización de los procesos y el nivel de comunicación de los productos con el proceso para lograr

que la producción sea autónoma se encuentran en el nivel 0 (ausencia), como fue expuesto en el primer hallazgo.

Por otro lado, la encuesta sugiere que los datos son un punto de partida para la implementación de I 4.0. Si bien es posible que la empresa no aproveche toda la gama de oportunidades de recopilación de datos (pregunta 36), es más efectiva en el uso de los datos que recopilan (FIGURA 8), lo que a su vez se refleja en el uso y la seguridad de los datos que tienen el nivel 2 (existencia).



Figura 8. Recolección y uso de datos

Es importante resaltar que la implementación de I 4.0 no radica en cómo las empresas aplican tecnologías individuales o realizan mejoras en las funciones de un solo negocio, sino en cuán efectivas son para desarrollar un enfoque de cadena de suministro integrado que se conecta con proveedores y clientes (Figura 9). Esta es la única forma de aprovechar al máximo el potencial que ofrece el concepto de I 4.0, pero lograr una colaboración digital completa y utilizarla de manera eficaz en toda la cadena de suministro requiere que se desarrollen procesos, capacidades y sistemas para respaldarlos.

La integración de la empresa está en nivel 1 (existencia). Existe una comunicación básica e intercambio de datos donde es requerido con proveedores y clientes importantes; ellos son los únicos que pueden acceder a información como: ubicación en sitio e inventario de los productos y algo



Figura 9. Integración y visibilidad extremo a extremo de la cadena de suministro

más sobre capacidad. Culturalmente se debe desarrollar la responsabilidad y la confianza para compartir abiertamente información precisa de manera oportuna fuera de los límites organizacionales. Esto requiere de una madurez mucho mayor que la exhibida por las empresas, en general, en sus relaciones tradicionales de proveedores y clientes.

COLABORACIÓN, LA CLAVE EN LAS RELACIONES CON LOS CLIENTES

I 4.0 digitaliza e integra los procesos verticalmente en toda la organización, desde el desarrollo y la compra de productos, hasta la fabricación, la logística y el servicio. La integración horizontal, también hace parte de la digitalización que busca I 4.0 y va desde los proveedores hasta los clientes y todos los socios clave de la cadena de valor.

A medida que se desarrolla la I 4.0, el modelo tradicional de productos que se lanza al mercado se desvanece y la idea de clientes íntimamente involucrados en una relación más colaborativa con los fabricantes es la norma. I 4.0 enriquece enormemente las oportunidades para retener y hacer crecer la relación con el cliente, pero también intensifica la lucha por el cliente.

Los datos que la empresa aprovecha postventa solo se emplean en el área de calidad, es decir, están enfocados en la detección temprana de problemas de calidad del producto, los retiros, la mejora en el diseño de los productos y la reducción de devoluciones (preguntas 47 y 48). El análisis de clientes sólo se hace para segmentación y para gestión de cartera (pregunta 50). Por esto

el nivel de la empresa es 0 (ausencia). No se aprovechan los datos reales de ventas para gestionar campañas promocionales o dinamizar precios y obtener ganancias (pregunta 51-54) ni la interacción con los clientes en todos los canales relevantes, ya sea directamente a través del departamento de ventas o a través de terceros como socios de plataforma, distribuidores o proveedores de datos.

Para la empresa la interacción con los clientes se hace por medio del equipo de ventas. Los ejecutivos de cuenta tienen acceso en tiempo real a los sistemas digitales de la compañía (pregunta 55), sin embargo, la integración de los canales de ventas es baja (pregunta 58), los vendedores no usan dichos canales de integración con los clientes (pregunta 59) ni hay sistemas de gestión de rendimiento en tiempo real y automatizado para la fuerza de venta (pregunta 57). Por lo anterior, el nivel de los canales de ventas es 0 (ausencia).



Figura 10. Niveles de colaboración

PROPUESTA DE HOJA DE RUTA I 4.0

I 4.0 está impulsada por la transformación digital en las cadenas de valor vertical/horizontal y la oferta de productos/servicios de las empresas. Las tecnologías clave necesarias para la transformación I 4.0, esto es inteligencia artificial, IoT, aprendizaje automático, computación en la nube, ciberseguridad y robótica colaborativa, provocan cambios radicales en los procesos comerciales de las organizaciones. Por ello, la estrategia seguida por una empresa mientras adopta nuevas tecnologías para sus procesos y productos tiene una importancia crítica. Como primer paso, la organización debe desarrollar una hoja de ruta que sirva como instrumento de planificación a largo plazo y permita establecer objetivos estratégicos y estimar el potencial de nuevas tecnologías, productos y servicios (Konstantin et al., 2015). Con base en los resultados de la encuesta de madurez y preparación, se ha definido una ruta de seis pasos prácticos que la empresa debe tomar para continuar su transformación hacia I 4.0.

La hoja de ruta para la empresa se presenta en la FIGURA 11. Los seis pasos se definen bajo el enfoque de *Value Stream Mapping* [VSM], cuya metodología establece explícitamente que es necesario entender el estado actual y futuro y, realizar un plan e implementación de mejoras para cerrar la brecha entre ambos estados (Serrano et al., 2008). Como explica Li (2014), VSM es una técnica de lean manufacturing, cuyo proceso proporciona formas efectivas de establecer direcciones estratégicas para una mejor toma de decisiones y diseño

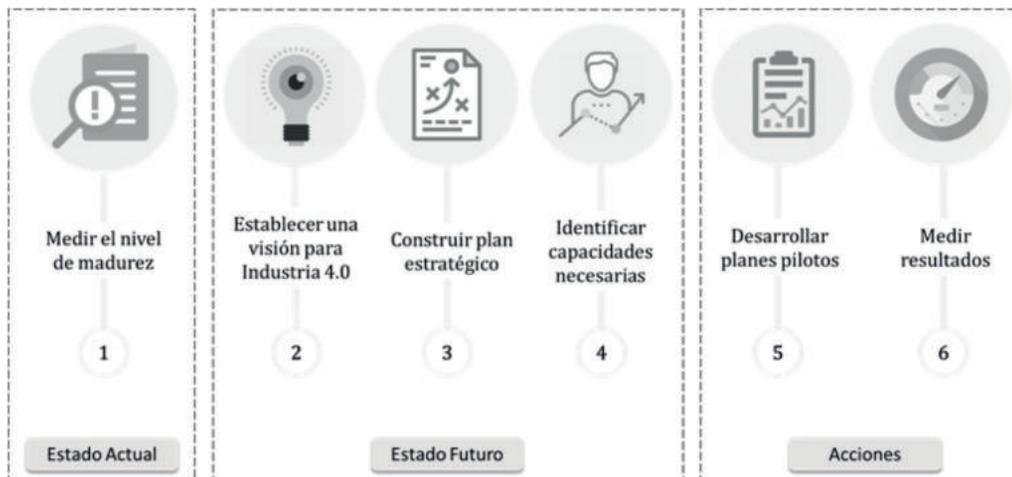


Figura 11. Hoja de ruta propuesta

del trabajo. A continuación se describen los fases y pasos incluidos en la hoja de ruta propuesta, con énfasis en los primeros cuatro pasos, dado que la fase acciones (pasos 5 y 6) está fuera del alcance de los objetivos de este proyecto (sin embargo, se incluye una descripción general de ambos).

ESTADO ACTUAL / PASO 1: MEDIR EL NIVEL DE MADUREZ

Este primer paso implica crear transparencia dentro de la organización sobre la posición actual de la empresa. Su objetivo es determinar inicialmente el estado de la propuesta de valor de la empresa para los clientes, sus capacidades operativas, sus capacidades tecnológicas y las habilidades de su gente. Muchas capacidades industriales ya han comenzado a digitalizar sus negocios, pero a menudo el proceso ha comenzado en silos organizativos, en lugar de a través de un enfoque holístico. El modelo de madurez propuesto es una herramienta que evalúa qué tan bien posicionada se encuentra la empresa.

ESTADO FUTURO / PASO 2: ESTABLECER UNA VISIÓN PARA I 4.0

Sobre la base del análisis realizado durante el paso 1, los líderes de la empresa generan una visión, que incorpora las aspiraciones de la organización. En este paso, las empresas deciden dónde ubicar los productos y servicios, qué propuestas de valor ofrecer a los consumidores y cómo ofrecer estas soluciones individualizadas a través de la interacción de los clientes de múltiples canales (Geissbauer et al., 2018).

La hoja de ruta dará forma a cada paso adicional que se tome en el camino hacia convertirse en una empresa de I 4.0, por lo que es importante tomarse el tiempo para definir claramente esta visión. Según Erol et al. (2016), el desarrollo de la visión se divide en dos fases, una de entrada, la otra de salida. Dentro de la fase de entrada, los pilares conceptuales de la I 4.0 se explican a través de expertos en el tema, presentaciones de las mejores prácticas y ejemplos prometedores del mismo campo de acción de la compañía, que sirven como una forma de evaluación comparativa y para crear conciencia sobre la necesidad de una acción inmediata. Las empresas deben tomar conciencia de la importancia de este tema antes de que puedan definir una estrategia efectiva y tomar otras medidas apropiadas (Lichtblau et al., 2015). Durante la fase de salida, en cambio, se evalúan cuestiones importantes como la idoneidad de los modelos de negocios actuales, de las habilidades organizativas y de la infraestructura tecnológica actual. El resultado de esta etapa es una visión

personalizada de la compañía para un estado final futuro que soporta los desafíos futuros de la nueva revolución industrial (TABLA 9).

Tabla 9. Visión I 4.0 para la multinacional

Nivel	Visión
Corporación	Ayudar a los clientes a enfrentar los desafíos globales del futuro al proporcionar calidad, servicio e innovación en cada solución que entregamos.
Colombia	Ser el fabricante y proveedor predominante de color y servicio, suministrando: productos de alta calidad a costos competitivos y la mejor asistencia técnica, para cubrir las expectativas de nuestros clientes, en un ambiente de trabajo que forme el desarrollo y la motivación del personal, satisfaciendo las expectativas de los accionistas
I 4.0 Colombia	Para 2030 tendremos visibilidad del proceso de extremo a extremo (end-to-end), tanto vertical como horizontalmente, en tiempo real, a todos los niveles de la empresa, para mejorar la productividad, calidad y seguridad.

De acuerdo con Benavidez (2018), cuando se construye una visión de I 4.0 se deben considerar los cambios futuros en el comportamiento del cliente y cómo cambiará su relación con ellos. Esto significa que la empresa debe ampliar su enfoque a toda la red de valor, incluidos los socios comerciales, proveedores y clientes relevantes.

ESTADO FUTURO / PASO 3: CONSTRUIR UN PLAN ESTRATÉGICO

El plan estratégico dividirá la visión a largo plazo de la I 4.0 en un modelo de negocio más concreto y desarrollará estrategias principales para su implementación exitosa (Chesbrough, 2007). Las estrategias responden a las preguntas del modelo de madurez propuesto. Para pasar del estado actual al futuro deseado se necesitarán pasos precisos y una clara priorización. Las empresas que se convierten en empresas de I 4.0 se embarcan en el viaje largo del paso a paso o en el viaje corto de “destrucción creativa”, pero finalmente terminan en una transformación del negocio central.

Scheer (2015) plantea que las estrategias para las empresas en transformación son tres (FIGURA 12).

- **Estrategia del océano azul.** Las empresas buscan la innovación disruptiva a través de I 4.0, es decir que se realiza una ruptura con lo existente y se crea una nueva empresa con un nuevo modelo de negocio.

Hoja de ruta para la implementación de un sistema de manufactura basado en industria 4.0

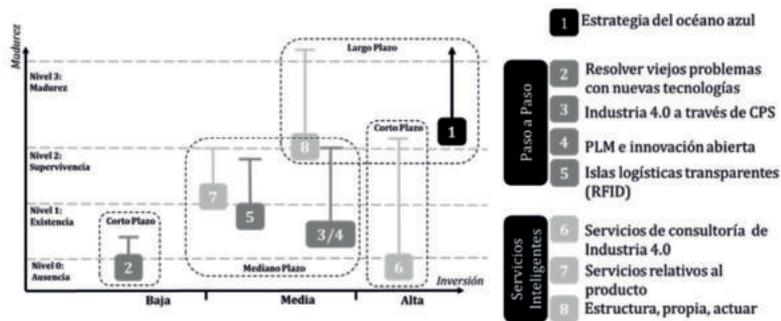


Figura 12. Estrategias de implementación (Scheer, 2015)

La característica de una estrategia de océano azul no es que un modelo de negocio existente se optimice, sino que se rompa con tantos principios como sea posible.

- **Estrategias paso a paso.** Las soluciones individuales complejas o insatisfactorias a los problemas actuales se vuelven a revisar bajo la perspectiva de I 4.0 o son iniciativas que se pueden ver como puntos de partida para otros pasos. Con estas estrategias solo se han rastreado aspectos menores de I 4.0. Requieren una gran aportación de capital para la reorganización organizativa y la flexibilidad de extremo a extremo en el diseño de productos y técnica del proceso de desarrollo. Estas estrategias sólo abordan la organización de fábrica. Los nuevos modelos de negocio apenas se discuten debido a su enfoque selectivo.
- **Estrategias de servicios inteligentes.** Describen la transición de una empresa industrial a un proveedor de servicios completo. Ya no vende a sus clientes el producto sino su funcionalidad, como un servicio [SaaS]. Esta transición se puede dar a través de una consultora en I 4.0 para luego también convertirse en una, o generando productos complejos que puedan conectarse a internet.

Las estrategias se muestran en el eje x de la FIGURA 12, ordenadas de menor a mayor inversión requerida; se muestra además, hasta qué punto se alcanza el objetivo de la madurez de I 4.0 del modelo propuesto o, respectivamente, cuánto de la estrategia se puede alcanzar; en la línea vertical, en cambio, se muestra el punto de partida y el potencial de la estrategia. Los cuadros punteados corresponden a la división de la visión en el plazo del plan estratégico.

Para el piloto, con base en la visión de I 4.0 planteada y el nivel de inversión catalogado como bajo (pregunta 15), la multinacional en Colombia decide implementar un plan estratégico que contempla las estrategias de paso a paso a corto, mediano y largo plazo, con niveles de inversión bajo y medio. Estas estrategias paso a paso son implementaciones en empresas que no se realizan de manera abrupta, sino que se trata de un cambio gradual.

Las estrategias de océano azul [SaaP] o productos y servicios inteligentes para I 4.0 se considerarán. Sin embargo, son de largo plazo (a más de los doce años, debido a que el piloto en Colombia no cambiará el modelo tradicional de negocio de la multinacional. La subsidiaria en Colombia no tiene el volumen, la venta, el peso o la posición estratégica necesarias para realizar dicho cambio –y la multinacional sigue teniendo mucho éxito con su modelo de negocio tradicional–, por lo que estas estrategias deben ser lideradas desde la corporación.

El plan estratégico de la FIGURA 13 es una representación gráfica basada en el tiempo, que contiene capas que incluyen perspectivas tecnológicas y comerciales, como lo plantean Phaal et al. (2001) y elementos clave del mercado, el producto y la tecnología, a lo largo del tiempo y asociados a una parte del negocio, como lo plantea Kappel (2001).

El plan inicia en la dimensión Estructura organizativa y liderazgo con la formación de un grupo piloto para liderar la transformación de I 4.0. De este grupo se derivan todas las demás actividades del plan. Los resultados en las diferentes dimensiones del modelo y la revisión detallada de las respuestas a la encuesta hecha permiten que el plan inicie con actividades que suponen que la multinacional ya ha implementado un sistema de información básica y que ya tiene un ERP [*Enterprise Resource Planning*] que permite la contabilidad, el movimiento básico de productos y la visualización de algunos indicadores empresariales que se utilizan para la gestión empresarial. Para un glosario de los términos incluidos en el plan, se recomienda revisar el trabajo de Viáfara (2018).

ESTADO FUTURO / PASO 4: IDENTIFICAR CAPACIDADES NECESARIAS

La creación de capacidades, la adaptación a los nuevos procesos y la conducción del cambio cultural necesario llevará años. La encuesta de PWC (Geissbauer et al., 2014) revela que el reto más grande de la I 4.0 no es implementar la tecnología apropiada sino la falta de cultura digital y las habilidades de los

Hoja de ruta para la implementación de un sistema de manufactura basado en industria 4.0

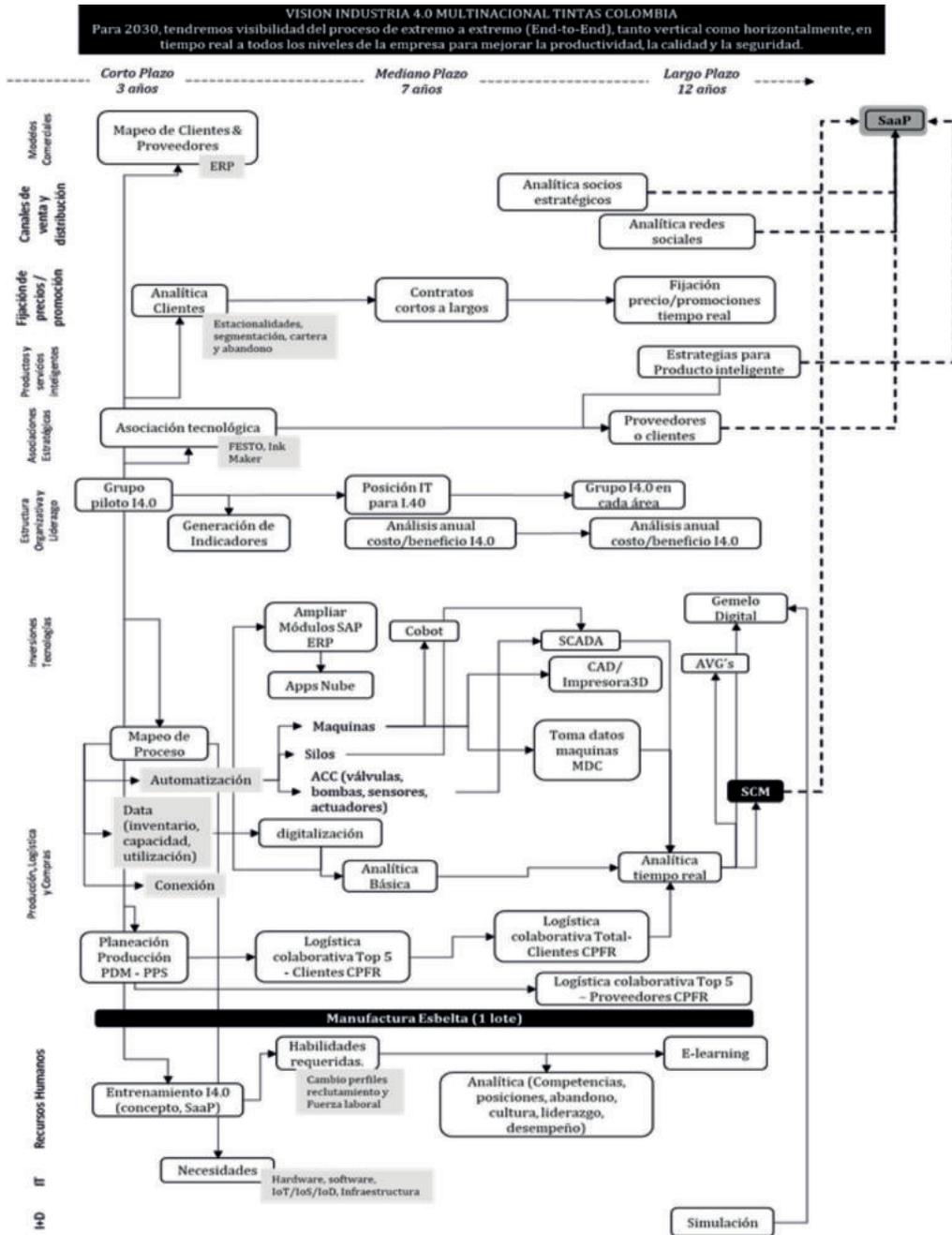


Figura 13. Plan estratégico para la implementación de I 4.0

trabajadores dentro de la organización. Las empresas necesitan desarrollar una cultura digital sólida y asegurarse de que el cambio esté impulsado por un claro liderazgo, también necesitarán atraer, retener y capacitar a nativos digitales y a otros empleados que se sientan cómodos trabajando en un entorno tecnológico.

En el caso del piloto con la multinacional, la revisión del plan estratégico completo de la capacitación de la fuerza laboral, el reclutamiento y el cambio de perfiles, se puede afirmar que los primeros siete años serán difíciles para los empleados de la empresa, como efecto de la implementación de nuevos sistemas y servicios de TI. La empresa tendrá que esforzarse al máximo para ayudar a los empleados a mejorar sus habilidades y conocimientos, para lo que RR.HH, junto con TI, han desarrollado perfiles de trabajo para las áreas de TI, mantenimiento y producción, con las calificaciones y habilidades necesarias de perfiles que aún no se tienen en la empresa (TABLA 10). Todos estos roles requieren conocimiento de los procesos para el procesamiento correcto de datos.

Los especialistas en informática proporcionarán procesos de soporte individuales, como infraestructura de red o mantenimiento de sistemas de servidor. Otro trabajo importante es el de programador de PLC porque proporciona automatización básica y complementaria y desarrolla sistemas automatizados. Uno de los objetivos de la I 4.0 es eliminar el trabajo físico

Tabla 10. Perfil de los nuevos cargos para I 4.0

Rol	Requisitos	Habilidades
Programador PLC	Profesional en ingeniería eléctrica con experiencia en programación de maquinaria y con capacidad de programación y conocimiento de PLC.	Inglés; manejo de Beckhoff TwinCAT.
Ingeniero de sistemas	Profesional en ingeniería de sistemas o telemática con conocimientos de: programación C / C ++, C # / .NET y aspectos básicos de trabajo con bases de datos (SQL).	Inglés; pensamiento analítico / lógico; resolución de problemas.
Analista de datos	Formación a nivel de posgrado en dirección técnica o matemática o estadística; PL / SQL – avanzado; UML – avanzado.	Inglés; pensamiento analítico / lógico; manejo de Excel y Minitab; conocimientos básicos de estadística; resolución de problemas.
Técnico en automatización	Formación en automatización (tecnología o ingeniería), con práctica y experiencia en el mantenimiento de máquinas y líneas automatizadas.	Inglés; conocimiento de estándares de seguridad.

pesado de los robots industriales. El uso dinámico de robots industriales requiere programación y puesta en servicio. Los sistemas de información también son importantes para garantizar la flexibilidad del proceso de producción. Estos sistemas son desarrollados, editados y distribuidos por ingenieros de sistemas o telemáticos, los sistemas de información y las bases de datos almacenan información valiosa, importante para optimizar la producción y la gestión empresarial. Esta información es procesada por analistas de datos basados en analítica. Un factor importante para la I 4.0 es la seguridad de los datos y la comunicación de los datos. Los sistemas de información y producción deben ser asegurados por técnicos de seguridad cibernética (la empresa ya cuenta con ellos) porque los ataques de hackers son una posibilidad.

La empresa ya cuenta con técnicos en electrónica, cuya responsabilidad es el mantenimiento de las máquinas actuales y futuras; ellos cuentan con las habilidades manuales y conocimientos básicos de electricidad e hidráulica. La producción automatizada requiere, además de los PLC, actuadores y piezas mecánicas, cuyo diseño e instalación son proporcionados por el técnico de automatización. A pesar de que la I 4.0 debe estar completamente automatizada, los ingenieros de procesos todavía deberán controlar y supervisar la mejora del proceso automatizado, participar en el análisis de las causas de los errores y realizar el control de calidad del producto en la salida. Este control del producto final es importante para una mayor optimización y configuración del proceso, por lo que se adicionará al perfil actual del ingeniero de procesos.

ACCIONES / PASO 5: DESARROLLAR PROYECTOS PILOTO

Los proyectos pilotos son a menudo pruebas de concepto y demostración de tecnologías limitadas; no todos los proyectos tendrán éxito, pero todos ayudarán a conocer el enfoque que funciona para la empresa. Con la evidencia de los éxitos iniciales también se puede obtener la aceptación de la organización y asegurar el financiamiento para una implementación más amplia.

Es importante elegir los proyectos adecuados; las opciones posibles incluyen: la integración vertical dentro de uno o dos sitios de fabricación; la integración horizontal con proveedores clave seleccionados Top 5, como se propone en el plan estratégico; o la instalación de sensores y actuadores en equipos de fabricación críticos y el uso del análisis de datos para explorar soluciones de mantenimiento predictivo.

La configuración del grupo de I 4.0 multifuncionales es una estrategia sólida para la concepción y selección de los proyectos piloto. RR.HH y de TI, dado que tienen un rol importante, deben integrarse a este equipo.

ACCIONES / PASO 6: MEDIR RESULTADOS

Tras los pilotos implementados, se deben monitorear las nuevas prácticas y procesos, asegurando que las transformaciones realizadas continúen impulsando mejoras y eficiencia en la empresa. A medida que los pilotos evolucionan, la compañía debe seguir madurando, reinvertiendo en el crecimiento continuo del plan estratégico, en el proceso de acercarse a convertirse en I 4.0 o fortalecer su madurez en el modelo. Escoger los indicadores con que se realizará la medición es una de las primeras tareas que debe realizar el grupo piloto de I 4.0, como lo muestra el plan estratégico.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La hoja de ruta de I 4.0 propuesta se presenta como una ruta ilustrada visualmente con seis pasos que se definen bajo el enfoque de VSM y ofrece una perspectiva de la situación actual de la empresa respecto a I 4.0, la situación futura a alcanzar en un horizonte temporal de cinco, siete y doce años, y las acciones para lograrlo. De los pasos incluidos en la ruta, el segundo –establecer una visión– es fundamental para la correcta implementación de I 4.0, ya que la visión es la declaración de lo que la empresa cree que son las condiciones ideales para ella organización y limita el alcance, crea las expectativas y genera el punto de llegada.

A la empresa se le recomienda acelerar la innovación del modelo de negocio. No es fácil, por su bajo peso relativo a nivel de la corporación, pero se puede hacer. Idealmente, descubrir cómo innovar antes de que se vea obligada a actuar por estrés financiero. No hay forma de saber hoy exactamente cómo será el futuro modelo de negocio, pero, la única forma de avanzar es realizar algunos experimentos, reunir la evidencia, identificar la dirección más prometedora y luego realizar algunos experimentos adicionales. Más adelante, un modelo prometedor tendrá que ampliarse e integrarse en toda la empresa.

En términos más generales, hay cuatro áreas con una conclusión importante: el concepto de I 4.0, los modelos de diagnóstico, el resultado y el panorama de la I 4.0 en Colombia.

En cuanto al concepto de I 4.0, se debe decir que no hay uno claro o al menos uno que sea común, en los documentos consultados, hay definiciones desde la economía (la cuarta revolución industrial), la tecnología (la inteligencia artificial en la manufactura), el liderazgo (descentralización de la toma de decisiones), la investigación (virtualización y simulación de sistemas para probar escenarios alternativos y apoyar reconfiguraciones rápidas) y la manufactura (capacidad en tiempo real para la recolección de datos de diferentes fuentes, incluyendo clientes, para retroalimentación inmediata al “ecosistema” entero de materias primas, fabricación, cadenas de suministro y distribución, por lo que en ocasiones es fácil caer en la generalización y definir I 4.0 como simplemente un conjunto de tecnologías que se comunican entre sí. I 4.0 tiene dos principios centrales claros: producto (SaaP) y proceso (integración vertical y horizontal y tamaño de lote = 1). El primero implica el cambio del modelo del negocio para dejar de vender un producto y pasar a vender un servicio a través del producto; el segundo implica tomar una decisión sobre qué problema del proceso se quiere resolver si se decide una transformación a I 4.0.

En la FIGURA 14, bajo el tradicional esquema de “la casita” del Toyota Production System, se presenta una propuesta de modelo para ayudar a entender e implementar I 4.0, enfocado en el principio central de proceso. La casita de I 4.0 permite recopilar el objetivo, las acciones y las tecnologías que permiten concluir rápidamente el núcleo de la cultura de la cuarta revolución. La casita

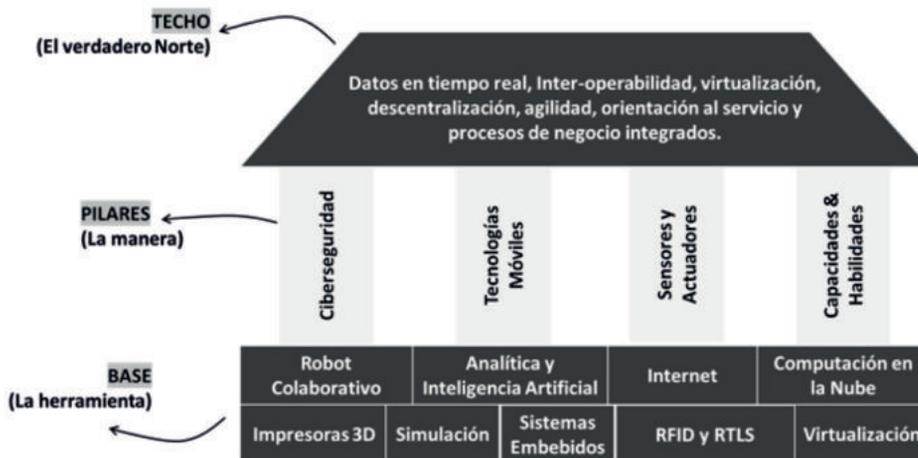


Figura 14. La casita de la I 4.0

da respuesta a las cuatro preguntas que la caracterizan: ¿qué problema vamos a resolver? (el techo); ¿cómo vamos a cambiar el estado actual?, ¿qué necesita la gente para cambiar el estado actual? y ¿cómo vamos a desarrollarlos? (los pilares); y ¿qué necesitamos para cambiar el estado actual? (la base).

En cuanto a los modelos de diagnóstico identificados durante la investigación, los principales hallazgos son:

- No todos los modelos tratan el tema de manera integral, sino que se centran en uno u otro de los principios centrales de I 4.0. Algunos enfocados en reducir el costo por unidad producida, otros en la integración horizontal de la cadena de suministro e integración vertical de todas las áreas de la compañía, y otros en la transformación del modelo de empresa.
- Es común encontrar que el diagnóstico está dirigido sólo a los CEO, quienes en algunas ocasiones solo tienen la percepción general de su compañía y no los detalles necesarios para hacer un diagnóstico.
- Existen modelos de diagnóstico generales, cuyo objetivo es escoger el estado de la compañía que más se acerque a unas características, por ejemplo, de interoperabilidad, análisis de datos, etc., pero no tienen la profundidad que se requiere de cara a una transformación real, no indagan con preguntas puntuales sobre las tecnologías que se usan, el objetivo del análisis que realizan o el presupuesto que se asigna para la transformación, etc.
- Es importante para todos los modelos la comunicación en las tres relaciones hombre-hombre, máquina-hombre y sobre todo, máquina-máquina. Destacando que esta última comunicación es la que gana un impacto aún mayor en los entornos de I 4.0.

Para satisfacer la necesidad de un modelo estructurado de diagnóstico de madurez, en este proyecto se propone un modelo con un enfoque holístico que consiste en la evaluación de la consciencia por parte de los directivos y colaboradores en todos los principios centrales de I 4.0, como la transformación del modelo de negocio, la eficiencia en la personalización de los productos y la integración vertical y horizontal. La principal contribución de este esfuerzo de investigación es la inclusión de aspectos organizativos y de desarrollo de las personas, pues si bien I 4.0 está impulsado por las nuevas tecnologías de producción e información, los conceptos organizacionales centrados en las personas siguen siendo importantes, incluso con técnicas de producción altamente automatizada, la manufactura esbelta, la formación de equipos y

la creación de nuevos perfiles de trabajo. La educación y la disposición de los empleados a participar en el aprendizaje permanente son factores de éxito importantes. Además, la inclusión de preguntas que viajan a través de todas las tecnologías (herramientas) de I 4.0 que resultan en un modelo más completo.

En cuanto al resultado, cabe mencionar que aun cuando la multinacional en Colombia tiene algunos de sus procesos industriales en un nivel de existencia (1) de I 4.0, su nivel de madurez general es de nivel ausencia (0), resultado conducido por el de la dimensión de la transformación del modelo de negocio, productos y servicios inteligentes o destrucción creativa. Este nivel de ausencia seguirá siendo el mismo hasta cuando por estrategia corporativa la empresa decida cambiarlo o cuando el mercado la obligue a hacerlo.

En cuanto a la situación de la I 4.0 en el país, es claro que aunque hoy las economías desarrolladas centran su discurso en el impulso a la cuarta revolución industrial, en Colombia son muy pocas y muy nuevas las voces que hablan de dejar de ser consumidores de esta revolución para pasar a ser protagonistas de ella, con una propuesta de desarrollo industrial sólida y focalizada que impacte. Sólo hasta 2017 se identificó una iniciativa –aún muy general–, dirigida a la transformación de las empresas en esa dirección, los CTDE.

Colombia está iniciando, pero está llegando tarde a la cuarta revolución: los empresarios aún tienen una visión micro de la realidad internacional y de las dinámicas del mercado internacional, por lo que se siguen generando productos y servicios para un mercado local; la inserción de la economía colombiana en el mercado internacional sigue siendo baja, luego de más de dos décadas de haber iniciado su proceso de internacionalización, a pesar del incremento en el número de tratados de libre comercio, el porcentaje del PIB de comercio de bienes y servicios ha disminuido un punto frente a 1990.

El Gobierno ya se encuentra caminando sobre ideas de transformación digital, sin embargo, su capacidad de inversión para la industria es bajo. Por lo anterior, es necesario que sean los empresarios quienes se pongan al corriente con la transformación a I 4.0.

Las universidades y los centros de formación tecnológica avanzan en materia de formación de profesionales y centros de investigación que entienden la visión de I 4.0, pero las empresas no demandan estas capacidades.

La gran variedad de políticas públicas promovidas desde el gobierno y dependientes de los deseos momentáneos de los partidos políticos que mantienen

el liderazgo por turnos, a veces por muy cortos periodos de tiempo, sumado a un sector privado que avanza o se contrae según los precios internacionales del petróleo, dificulta que el país tenga una verdadera apuesta por una política industrial de largo plazo, así sea más sensato empezar por algún camino, en lugar de seguir estancados esperando que el petróleo resuelva los problemas de desarrollo económico.

Como trabajo futuro se plantea verificar si el plan estratégico propuesto es apropiado para llegar a niveles superiores de madurez en todas las dimensiones y si genera un círculo virtuoso para la transformación a lo largo de la cadena de suministro (proveedores y clientes). Si por lo contrario, limita la transformación propia, se deben encontrar estrategias para mitigar la desaceleración de la transformación.

Es imprescindible además, verificar la pertinencia del modelo de diagnóstico con una muestra representativa de empresas, del mismo sector y de otros sectores, para comprobar el nivel de generalidad del diagnóstico.

REFERENCIAS

- Accenture & General Electric (2014). *Industrial Internet insights for 2015*. https://www.accenture.com/t20150523t023646z__w__/us-en/_acnmedia/accenture/conversion-assets/dotcom/documents/global/pdf/dualpub_11/accenture-industrial-internet-insights-report-2015.pdf
- Albright, R., & Kappel, T. (2003). Roadmapping in the corporation. *Research Technology Management*, 46, 31–40.
- Basl, J., & Kopp, J. (2017). Study of the readiness of Czech companies to the industry 4.0. *Journal of Systems Integration*, 8(3), 40–45.
- Benavidez, A. (2018). *Industria 4.0 vs Industria Colombiana* / Entrevista por L. Viáfara [inédita].
- Bi, Z., Lang, S., & Wang, L. (2008). Improved control and simulation models of a tricycle collaborative robot. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 19(6), 715–722.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung. (2014). *The new high-tech strategy innovations for Germany*. https://ec.europa.eu/knowledge4policy/sites/know4pol/files/hts_broschuere_engl_bf.pdf
- Buyya, R., Yeo, C., Venugopal, S., Broberg, J., & Brandic, I. (2009). Cloud computing and emerging IT platforms: Vision, hype, and reality for delivering computing as the 5th utility. *Future Generation Computer Systems*, 25(6), 599–616.
- Carrillo, M., Pereira, F., Moreno, J., López, S., & Matiz, F. (2016). *Reporte GEM:*

- Colombia 2015/2016. GEM Colombia. <https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/1565/1/2015-Reporte-GEM-Colombia.pdf>
- Castaño, M. (2016). *Nivel de madurez de transformación digital en las empresas*. Cintel. <https://www.cintel.co/wp-content/uploads/2016/09/Indice-Madurez-Transformacion-Digital-CINTEL.pdf>
- Castaño, M. (2018). *Industria 4.0 vs Industria Colombiana / Entrevista por L. Viáfara* [inédita].
- Chesbrough, H. (2007). Business model innovation: it's not just about technology anymore. *Strategy & Leadership*, 35(6), 12–17: .
- Council for Science, Technology and Innovation. (2015). *Report on the 5th science and technology basic plan*. Government of Japan.
- Deindl, M. (2013). *Gestaltung des einsetzes von intelligenten objekten in produktion und logistik*. Apprimus Wissenschaftsver.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE]. (2018). *Indicadores básicos de tecnologías de la información y comunicación TIC* [boletín]. https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/tic/bol_tic_agos08.pdf
- Departamento Nacional de Planeación [DNP]. (2018). *Datos abiertos: gobierno digital Colombia*. https://www.datos.gov.co/browse?Informaci%C3%B3n-de-la-Entidad_Nombre-de-la-Entidad=Departamento+Nacional+de+Planeaci%C3%B3n&q=dnpsortBy=relevance&utf8=%E2%9C%93
- Departamento Nacional de Planeación [DNP]. (2016). *Política nacional de desarrollo productivo* [Compes 3866]. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Compes/Econ%C3%B3micos/3866.pdf>
- Erol, S., Sihni, W., & Schumacher, A. (2016). Strategic guidance towards Industry 4.0 – a three-stage process model. *International Conference on Competitive Manufacturing (COMA) 2016*, (pp. 495–500).
- European Commission. (2014). *Factories of the future PPP: towards competitive EU manufacturing*. http://ec.europa.eu/research/press/2013/pdf/ppp/fof_factsheet.pdf
- Ganzarain, J., & Errasti, N. (2016). Three stage maturity model in SME's towards industry 4.0. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 9(5), 1119–1128.
- Geissbauer, R., Lubben, E., Schrauf, S., Pillsbury, S. (2018). *Global digital operations study 2018: digital champions*. PWC. <https://www.strategyand.pwc.com/gx/en/insights/industry4-0/global-digital-operations-study-digital-champions.pdf>
- Geissbauer, R., Schrauf, S., Koch, V., Kuge, S. (2014). *Industrie 4.0: opportunities and challenges of the industrial internet*. PWC. <https://www.pwc.nl/en/assets/documents/pwc-industrie-4-0.pdf>
- Haller S., Karnouskos S., & Schroth C. (2009) The internet of things in an enterprise context. en: J. Domingue, D. Fensel, & P. Traverso (Eds.), *Lecture Notes in Computer Science, vol 5468*. *Future Internet – FIS 2008*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-00985-3_2

- Hernández, M. (2017). *Una mayor intensidad de la desaceleración económica al inicio del año 2017: El PIB del primer trimestre de 2017 creció 1,1% anual*. BBVA Research. <https://www.bbvaresearch.com/wp-content/uploads/2017/05/FlashPIB1.pdf>
- Illés, B., Tamas, P., Dobos, P., Skapinyecz, R. (2017). New challenges for quality assurance of manufacturing processes in industry 4.0. *Solid State Phenomena*, 261, 481–486. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.261.481>
- Industrial Internet Consortium [IIC]. (2014). *The industrial internet consortium: a global not-for-profit partnership of industry, government and academia*. <http://www.iiconsortium.org/about-us.htm>
- Jodlbauer, H., & Schagerl, M. (2016). Reifegradmodell industrie 4.0 - Ein vorgehensmodell zur. En: *Lecture Notes in Informatics, P-259, Gesellschaft für Informatik, 2016*, (pp. 1473–1487). Springer.
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative industrie 4.0*. Berlin: Industrie 4.0 Working Group of Acatech.
- Kang, H. S., Lee, J., Choi, S., & Kim, H. (2016). Smart manufacturing: past research, present findings, and future directions. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 3, 111–128). <https://doi.org/10.1007/s40684-016-0015-5>
- Kappel, T. (2001). Perspectives on roadmaps: how organizations talk about the future. *Journal of Product Innovation Management*, 18, 39–50.
- Konstantin , V., Karasev, O., & Meissner, D. (2015). Integrated roadmaps for strategic management and planning. *Technological Forecasting & Social Change*, 110,153–166.
- Kuhn, W. (2006). Digital factory: simulation enhancing the product and production engineering process. Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference, (pp. 1899–1906). <https://doi.org/10.1109/WSC.2006.322972>.
- Lanza, G., Nyhuis, P., Ansari, S., Kuprat, T., & Liebrecht, C. (2016). Befähigungs- und Einführungs- strategien für Industrie 4.0. *ZWF Zeitschrift für Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 111(1-2), 76–79.
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H.-G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering*, 6, 239–242.
- Li, K. (2015). *Report of the work of the government*. http://english.www.gov.cn/archive/publications/2015/03/05/content_281475066179954.htm.
- Li, X. (2014). *A literature review on value stream mapping with a case study of applying value stream mapping on research process* [Tesis, Texas A&M University].
- Lichtblau, K., Stich, V., Bertenrath, R., Blum, M., Bleider, M., Millack, A., Schmitt, Schmitz , E., & Schröter, M. (2015). *Industrie 4.0 readiness*. Impuls-Stiftung. http://www.impuls-stiftung.de/documents/3581372/4875823/Industrie+4.0+Readiness+IMPULS+Studie+Oktober+2015_eng.pdf/
- Luna, D. (2018). *Industria 4.0 vs Industria Colombiana / Entrevista por L. Viáfara* [inédita].

- Maynard, A. D. (2015). Navigating the fourth industrial revolution. *Nature Nanotechnology*, 10(12), 1005–1006.
- Mell, P., & Grance, T. [NIST]. (2011). *The NIST definition of cloud computing* (Special Publication 800-145). <http://faculty.winthrop.edu/domanm/csci411/Handouts/NIST.pdf>
- Ministère du Redresse Productif. (2013). *The new face of industry in France*. https://www.economie.gouv.fr/files/nouvelle_france_industrielle_english.pdf
- Molnar, M. (2011). *The US advanced manufacturing initiative*. NIST. https://www.nist.gov/system/files/documents/2017/04/28/Molnar_091211.pdf
- Muller, G. (2018). *Roadmapping: embedded systems*. www.gaudisite.nl
- National Research Foundation. (2016). *Research Innovation Enterprise 2020 plan: winning the future through science and technology*. <https://www.nrf.gov.sg/rie2020>
- Nikitin, P. (2012). Leon Theremin (Lev Termen). *IEEE Antennas and Propagation*, 54(5), 252–257.
- Obitko, M., & Jirkovský, V. (2015). Big data semantics in industry 4.0. *HoloMAS 2015 Proceedings of the 7th International Conference on Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems* (vol. 9266, pp. 217–229).
- Otero, A. F. (2018). *Industria 4.0 vs industria Valle del Cauca* / Entrevista por L. Viáfara [inédita].
- Paelke, V. (2014). Augmented reality in the smart factory: supporting workers in an industry 4.0. Environment. En *Proceedings of the 2014 IEEE Emerging Technology and Factory Automation (ETFA)*. <https://doi.org/10.1109/ETFA.2014.7005252>.
- Patidar, S., Rane, D., & Jain, P. (2012). A survey paper on cloud computing. En: *ACCT '12, Proceedings of the 2012 Second International Conference on Advanced Computing & Communication Technologies* (pp. 394–398).
- Phaal, R., Farrukh, C., & Probert, D. (2001). *T-Plan: the fast-start to technology roadmapping: planning your route to success*. Cambridge University Institute of Manufacturing.
- Phaal, R., Farrukh, C., & Probert, D. (2004). Technology roadmapping: a planning framework for evolution and revolution. *Technological Forecasting and Social Change*, 71, 5–26.
- Price Waterhouse Coopers [PWC]. (2014). *Opportunities and challenges of the fourth industrial revolution*.
- Price Waterhouse Coopers [PWC]. 2016. *Global digital operations study digital champions*
- Rennung, F., Luminosu, C. T., & Draghici, A. (2016). Service provision in the framework of industry 4.0. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 221(7), 372–377.
- Restrepo, J. M. (2018). Compromisos en los que trabajará la cartera ministerial [video]. <https://www.youtube.com/watch?v=vxy40c9eviA&t=484s>
- Rockwell Automation. (2016). *The connected enterprise*. https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/br/cie-br001_-en-p.pdf
- Rouse, M. & DeBeasi, P. (2018). *Real-time location system (RTLS)*. Techtarger. <https://searchmobilecomputing.techtarger.com/definition/real-time-location-system-RTLS>

- Salkin C., Oner M., Ustundag A., Cevikcan E. (2018). A conceptual framework for industry 4.0. En: *Springer Series in Advanced Manufacturing. Industry 4.0: managing the digital transformation*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-57870-5_1
- Scheer, A.-W. (2015). *Industry 4.0: from vision to implementation*. AWS-Institute for Digitized Products and Processes.
- Schmidt, R., Möhring, M., Härting, R.-C., Reichstein, C., Neumaier, P., & Jozinović, P. (2015). Industry 4.0 - potentials for creating smart products: empirical research results. En W. Abramowicz (Ed.), *Lecture Notes in Business Information Processing. Business: vol. 208. Information Systems* (pp. 16–27). Springer.
- Schumacher, A., Erol, S., & Sihm, W. (2016). A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. *Procedia CIRP*, 52, 61–166.
- Serrano, I., Ochoa, C., & De Castro, R. (2008). An evaluation of the value stream mapping tool. *Business Process Management Journal*, 14(1), 39–52.
- Shariatzadeh, N., Lundholm, T., Lindberg, L., & Sivard, G. (2016). Integration of digital factory with smart factory based on internet of things. *Procedia CIRP*, 50, 512–517. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.05.050>
- Stockman, H. (1948). Communication by means of reflected power. *Proceedings of the IRE*, 36(10), 1196–1204.
- Syberfeldt, A., Holm, M., Danielsson, O., Wang, L., & Brewster, R. (2016). Support Systems on the Industrial Shop-floors of the Future – Operators’ Perspective on Augmented Reality. *Procedia CIRP*, 44, 108–113.
- UK Department for Business, Innovation & Skills & UK Government Office for Science (2013). *Future of manufacturing: a new era of opportunity and challenge for the UK*. <https://www.gov.uk/government/publications/future-of-manufacturing/future-of-manufacturing-a-new-era-of-opportunity-and-challenge-for-the-uk-summary-report>
- University of Warwick . (2018). *An industry 4 readiness assessment tool*. https://warwick.ac.uk/fac/sci/wmg/research/scip/reports/final_version_of_i4_report_for_use_on_websites.pdf
- Viáfara, L. (2018). *Propuesta de hoja de ruta para implementación de un sistema de manufactura basado en industria 4.0 en multinacional de tintas en Colombia* [tesis de maestría, Universidad Icesi].
- Wittenberg, C. (2015). Cause the trend industry 4.0 in the automated industry to new requirements on user interfaces? En *International Conference on Human-Computer Interaction HCI 2015: Human-Computer Interaction: Users and Contexts*, (pp. 238-245)
- Woetzel, J., Madgavkar, A. Seong, J., Manyika, J., Sneider, K., Tonby, O., Cadena, A., Gupta, R., Leke, A., Kim, H., & Gupta, S. (2018). *Outperformers: las economías emergentes de rápido crecimiento y las empresas que las impulsan*. McKinsey. <https://www.mckinsey.com/pe/en/outperformers-las-economias-emergentes-de-rapido-crecimiento-y-las-empresas-que-las-impulsan>

ANEXO. MODELO DE MADUREZ Y PREPARACIÓN

1. ¿Cuántos empleados trabajan en su negocio?
 - a. hasta 10 empleados
 - b. 11 a 50 empleados
 - c. 51 a 200 empleados
 - d. más de 200 empleados

2. ¿Qué volumen de negocios anual tuvo su empresa el año inmediatamente anterior?
 - a. hasta USD 1.99 millones
 - b. de USD 2 millones a USD 9.99 millones
 - c. de USD 10 millones a USD 49.99 millones
 - d. más de USD 50 millones

3. ¿A qué sector pertenece su empresa?
 - a. Sector agropecuario.
 - b. Sector de servicios.
 - c. Sector industrial.
 - d. Sector de transporte
 - e. Sector de comercio
 - f. Sector financiero
 - g. Sector de la construcción
 - h. Sector minero y energético
 - i. Sector solidario
 - j. Sector de comunicaciones

DIMENSIÓN ESTRATEGIAS Y ORGANIZACIÓN / ASOCIACIONES ESTRATÉGICAS

4. ¿Está involucrada su empresa con el tema y la aplicación de los enfoques de I 4.0?
 - a. No nos concierne I 4.0 (si marca esta opción, pase a la pregunta 8)
 - b. Actualmente preparando proyectos piloto en I 4.0
 - c. Actualmente implementando proyectos piloto en I 4.0
 - d. Hemos estado trabajando con la I 4.0 durante mucho tiempo

5. ¿Su empresa tiene asociaciones para proyectos de I 4.0?
 - a. Ninguna
 - b. Académica

- c. Proveedores de tecnología
 - d. Proveedores o clientes
6. ¿Cómo describiría el estado de implementación de su estrategia I 4.0?
- a. No existe una estrategia
 - b. Iniciativas piloto lanzadas
 - c. Estrategia en desarrollo
 - d. Estrategia formulada
 - e. Estrategia en implementación
 - f. Estrategia implementada
7. ¿Utiliza indicadores para rastrear el estado de implementación de su estrategia I 4.0?
- a. No, nuestro enfoque aún no está claramente definido
 - b. Sí, tenemos un sistema de indicadores que nos da cierta orientación
 - c. Sí, tenemos un sistema de indicadores que consideramos apropiado
8. ¿Por qué su empresa no se ocupa de I 4.0?
- a. No tenemos suficiente información y conocimiento de I 4.0
 - b. Tenemos conocimientos y habilidades insuficientes
 - c. La I 4.0 está costando demasiado
 - d. No hay regulaciones gubernamentales e incentivos
 - e. No estamos seguros de que I 4.0 brinde beneficios
 - f. Nuestra competencia no aborda este problema, por lo que no es importante para nosotros hoy
 - g. Otro

MODELOS COMERCIALES

9. ¿Sus productos y servicios existentes cumplen con modelos de negocios digitales innovadores?
- a. No
 - b. Si
10. ¿En qué medida conoce el modelo de negocio “As-a-service”?
- a. Sin conciencia
 - b. Consciente del concepto con algunos planes iniciales para el desarrollo
 - c. Alta conciencia y planes de implementación están en desarrollo
 - d. “As-a-service” se implementó y se ofrece al cliente

Hoja de ruta para la implementación de un sistema de manufactura basado en industria 4.0

11. ¿Qué grado de recursos se asigna a los modelos de negocios digitales?
 - a. Ninguno
 - b. Bajo
 - c. Medio
 - d. Alto

12. ¿El modelo de negocio actual de la compañía es evaluado y actualizado en materia de digitalización?
 - a. No
 - b. Si

13. ¿En qué medida monetiza sus nuevos servicios basados en datos?
 - a. Ninguna
 - b. 0-2.5%
 - c. 2.5-10%
 - d. Más de 10%

INVERSIONES TECNOLOGÍAS

14. ¿Qué tecnologías en su empresa están impulsando la I 4.0?
 - a. Análisis de datos e inteligencia artificial
 - b. Robots adaptables
 - c. Simulación
 - d. Sistemas embebidos
 - e. Comunicación y redes
 - f. La seguridad cibernética
 - g. Nube
 - h. Fabricación aditiva
 - i. Tecnologías de virtualización (VR y AR)
 - j. Sensores y actuadores
 - k. Tecnologías RFID y RTLS
 - l. Tecnologías móviles

15. ¿En qué medida asigna presupuesto a las inversiones en I 4.0?
 - a. Ninguna
 - b. Bajo
 - c. Medio
 - d. Alto

16. ¿Con qué frecuencia realiza un análisis de costo / beneficio para inversión en I 4.0?
 - a. Aún no se ha medido la inversión de I 4.0
 - b. Aún no hay una revisión del análisis de costo / beneficio para la inversión de I 4.0
 - c. Análisis anual de costo / beneficio de la inversión de I 4.0
 - d. Análisis trimestral de costo / beneficio de la inversión de I 4.0

17. ¿En qué partes de su empresa ha invertido en la implementación de I 4.0? Por favor especifique: planeada / realizada.
 - a. Producción, Logística y Compras
 - b. I + D - Desarrollo de productos
 - c. Servicios posventa
 - d. Precio / Promoción
 - e. Canales de venta y distribución
 - f. Recursos humanos
 - g. Tecnología Información
 - h. Finanzas

ESTRUCTURA ORGANIZATIVA Y LIDERAZGO

18. ¿Los equipos de unidades de negocios / proyectos están estructurados de forma interdisciplinaria en la empresa?
 - a. No
 - b. Si

19. ¿Existe alguna unidad de negocios para mantener una relación o comunicarse con los clientes?
 - a. No
 - b. Servicio al cliente
 - c. Gestión de relaciones con clientes

20. ¿Hay alguna estructura organizativa basada en datos? (Científicos de datos, equipo de análisis, director de transformación digital, etc.)
 - a. No
 - b. Si

21. ¿En qué medida los empleados tienen habilidades relevantes para la I 4.0?
 - a. Los empleados tienen poca o ninguna experiencia con las tecnologías digitales
 - b. Las áreas del negocio centradas en la tecnología tienen empleados con algunas habilidades digitales

Hoja de ruta para la implementación de un sistema de manufactura basado en industria 4.0

- c. La mayoría de las áreas del negocio tienen una capacidad de análisis digital y de datos bien desarrollada
 - d. En todo el negocio, las habilidades digitales y analíticas de vanguardia prevalecen
22. ¿Tiene capacitación para la transformación digital en la empresa?
- a. No
 - b. Si
23. ¿Cómo está organizada su TI?
- a. No hay departamento de TI interno (se utiliza proveedor de servicios)
 - b. Departamento central de TI
 - c. Departamento de TI local en cada área (producción, desarrollo de productos, etc.)
 - d. Expertos en TI adscritos a cada departamento
24. ¿En qué medida los departamentos colaboran entre sí?
- a. La empresa opera en silos funcionales
 - b. Existe una interacción limitada entre los departamentos (es decir, el proceso S & OP)
 - c. Los departamentos están abiertos a la colaboración multifuncional
 - d. Los departamentos están abiertos a la colaboración entre empresas para impulsar mejoras
25. ¿En qué medida el equipo de liderazgo apoya la I 4.0?
- a. El equipo de liderazgo no reconoce el valor de las inversiones de I 4.0
 - b. El equipo de liderazgo está investigando los potenciales beneficios de I 4.0
 - c. El equipo de liderazgo reconoce los beneficios financieros que se obtendrán a través de I 4.0 y está desarrollando planes para invertir
 - d. Soporte generalizado para I 4.0 tanto en el equipo de liderazgo como en el resto de la empresa
26. ¿Existe un equipo de trabajo de I 4.0 para ejecutar proyectos innovadores?
- a. No hay empleados para proyectos de I 4.0
 - b. Hay empleados para proyectos I 4.0; pero diferentes unidades de negocios
 - c. Hay empleados para proyectos I 4.0 en la misma unidad de negocios
27. ¿Hay algún ambiente de trabajo donde las unidades de OT / TI trabajan juntas?
- a. No
 - b. Si

DIMENSIÓN PRODUCTOS Y SERVICIOS INTELIGENTES

28. ¿Qué funciones pueden cumplir los productos de su empresa?
- Ninguna
 - Comunicación con otros productos / plataformas, máquinas y sistemas externos
 - Recopilación de datos del entorno y otros sistemas
 - Mantener los datos que recopilan en su sistema o en la nube
 - Enviar información a una plataforma o aplicaciones en la nube que interactúa
29. ¿Qué etapas del análisis de datos puede realizar un producto?
- Ninguna
 - Descriptivo: captura condición, entorno y operación del producto
 - Diagnóstico: examina las causas de la reducción del rendimiento o fallas del producto
 - Predictivo: detecta patrones que señalan eventos inminentes
 - Prescriptivo: identifica medidas para mejorar los resultados o corregir problemas
30. ¿En qué medida se puede rastrear los productos a lo largo de su ciclo de vida?
- Seguimiento de producto nulo o limitado
 - Los productos pueden rastrearse a medida que se mueven entre los sitios de fabricación y distribución interna
 - Los productos se pueden rastrear a través de la fabricación y distribución hasta que lleguen a los clientes DC
 - Los productos pueden ser rastreados a lo largo de su ciclo de vida completo
31. ¿A quién ofrece el servicio de los datos del usuario obtenidos por el producto?
- No ofrecemos el servicio
 - Otros negocios
 - Clientes
 - Socios

DIMENSIÓN PROCESOS EMPRESARIALES INTELIGENTES / PRODUCCIÓN, LOGÍSTICA Y ADQUISICIÓN

32. ¿Cuál de los siguientes sistemas usa? Favor especifique si el sistema tiene una interfaz hacia un sistema central
- MES- Manufacturing execution system
 - ERP- Enterprise resource planning
 - PDM – Product data management
 - PPS- Production Planning system

Hoja de ruta para la implementación de un sistema de manufactura basado en industria 4.0

- e. PDA – Production data acquisition
 - f. MDC – Machine data collection
 - g. CAD – Computer aided design
 - h. SCM – supply chain management
33. ¿En qué medida está integrada la cadena de suministro actual?
- a. Comunicación reactiva ad hoc con proveedores y clientes
 - b. Comunicación básica e intercambio de datos donde sea requerido con proveedores y clientes
 - c. Transferencia de datos entre proveedores / consumidores estratégicos clave (por ejemplo, niveles de inventario de clientes)
 - d. Sistemas completamente integrados con proveedores / clientes para procesos apropiados (por ejemplo, planificación integrada en tiempo real)
34. ¿En qué medida están automatizados los equipos y sistemas de producción?
- a. Nivel de la máquina: parcial
 - b. Nivel de la máquina: exacto (carga / descarga + operación)
 - c. Nivel Línea de producción/celda: parcial
 - d. Nivel Línea de producción/celda: exacta (carga / descarga + operación + transporte)
 - e. Nivel de fábrica: parcial
35. Exprese el nivel de personalización en producción
- a. Bajo - 10.000 + Tamaño de Lote
 - b. Medio
 - c. Alto – 1 Lote
36. ¿Qué datos sobre su maquinaria, procesos y productos, así como los fallos de funcionamiento y sus causas se recopilan durante la producción y cómo se recopilan? Favor especifique si se hace manual o automáticamente
- a. Ninguno
 - b. Datos de inventario
 - c. Tiempos de producción de manufactura
 - d. Utilización de la capacidad del equipo
 - e. Residuos de producción
 - f. Fallas de equipo
 - g. Ocupación Empleado
 - h. Datos sobre el procesamiento restante

- i. Efectividad total del equipo (OEE)
 - j. Otro:
37. ¿Cómo se utilizan los datos que recopila en la producción?
- a. No se utilizan
 - b. Mantenimiento predictivo
 - c. Optimización de procesos de logística y producción
 - d. Creación de transparencia en el proceso de producción
 - e. Gestión de la calidad
 - f. Control de producción automático mediante el uso de datos en tiempo real
 - g. Optimización del consumo de recursos (material, energía)
 - h. Otro:
38. ¿Cómo se utilizan los datos que recopila en logística y compras?
- a. No se utilizan
 - b. Gestión predictiva del riesgo del proveedor (para detectar fallas del proveedor desde el principio)
 - c. Cuadros de mandos de proveedores digitales, objetivos y seguimiento de mejoras
 - d. Seguimiento automatizado del logro del objetivo y los pagos de bonificación
 - e. Sistema de gestión de reclamaciones digitales con sistema de advertencia automático integrado
 - f. Gran análisis de datos para detectar nuevos proveedores a nivel mundial
 - g. Otro:
39. ¿En qué medida su cadena de suministro tiene visibilidad de extremo a extremo?
- a. Sin integración con proveedores o clientes
 - b. La ubicación del sitio, la capacidad, el inventario y las operaciones son visibles entre los proveedores y los clientes importantes
 - c. La ubicación del sitio, la capacidad, el inventario y las operaciones son visibles en toda la cadena de suministro
 - d. La ubicación del sitio, la capacidad, el inventario y las operaciones son visibles en tiempo real a lo largo de la cadena de suministro y se utilizan para monitoreo y optimización.
40. ¿Cuál es el nivel de trazabilidad en tiempo real de la operación (Concepto Gemelo Digital)
- a. Ninguna
 - b. Nivel de máquina

- c. Línea de producción / nivel celda
 - d. Nivel de fábrica
41. ¿Cuál es el nivel de uso de las tecnologías en producción, logística y compras? Favor especifique: ninguno, bajo, medio o alto
- a. Tecnologías móviles y virtuales
 - b. Impresoras 3D
 - c. Robot adaptativo/colaborativo

DESARROLLO DE PRODUCTOS (I + D)

42. ¿En qué medida se simula la fabricación y los términos de uso del producto durante el desarrollo del producto?
- a. Ninguna
 - b. Bajo
 - c. Medio
 - d. Alto
43. ¿En qué medida los datos obtenidos del producto se utilizan en el desarrollo del nuevo producto?
- a. Ninguna
 - b. Bajo
 - c. Medio
 - d. Alto
44. ¿Utiliza impresoras 3D en los procesos de producción / creación de prototipos?
- a. No
 - b. Si
45. ¿La información de diseño del producto se transfiere automáticamente con los sistemas CAD / CAM a la máquina?
- a. No
 - b. Si
46. ¿Pueden sus clientes personalizar sus productos antes de la producción de acuerdo a sus preferencias?
- a. No
 - b. Si

SERVICIO POSVENTA

47. ¿Cómo se beneficia con los datos que recopila en los servicios posventa?
- a. No se recopilan datos
 - b. Detección temprana de problemas de calidad del producto y retiros
 - c. Mejora en el diseño de producto
 - d. Recuperación del proveedor avanzada
 - e. Planificación optimizada de piezas de repuesto
 - f. Sospechoso minimizado y reclamos fraudulentos
 - g. Reducción de "devoluciones falsas" y sin problemas encontrados
 - h. Mayor precisión de pronóstico de reservas
 - i. Mejora en calidad e información del servicio
 - j. Confiabilidad del cliente y planes de mejora
 - k. Otro:
48. ¿Qué servicios proporciona al utilizar el análisis de datos y otras tecnologías en los servicios posventa?
- a. No se proporcionan
 - b. Mantenimiento remoto
 - c. Asistencia con problemas o fallas en tiempo real
 - d. Gestión de reclamos asistida por TI
 - e. Gestión de pedidos (CRM, historial de pedidos, seguimiento de entregas, etc.)
 - f. Visualización del historial del producto
 - g. Previsión de entrega
 - h. Otro:
49. ¿Utiliza tecnologías digitales (tecnologías móviles y de virtualización) en los procesos de servicios posventa?
- a. No
 - b. Si

FIJACIÓN DE PRECIOS / PROMOCIÓN

50. ¿Cuál de los siguientes estudios se lleva a cabo dentro del análisis del cliente?
- a. No se hacen estudios
 - b. Segmentación de clientes
 - c. Ciclo de vida del cliente
 - d. Venta cruzada

Hoja de ruta para la implementación de un sistema de manufactura basado en industria 4.0

- e. Administración de campaña
 - f. Análisis de cesta de compra / agrupación de productos
 - g. Recomendación del producto
 - h. Análisis de abandono del cliente
 - i. Gestión de la cartera de productos
 - j. Otro
51. ¿Utilizas datos obtenidos del mercado u otras plataformas en precios de productos o precios dinámicos?
- a. Precios del producto
 - b. Precio Dinámico
52. ¿Generas nuevas campañas a partir de compras y datos de uso del producto?
- a. No
 - b. Si
53. ¿Funcionan los sistemas de gestión de campañas integrados con otros sistemas?
- a. No
 - b. Si
54. ¿Analiza el rendimiento de la campaña para usar estos análisis en nuevas campañas?
- a. No
 - b. Si

CANALES DE VENTA Y DISTRIBUCIÓN

55. ¿Cuál es el nivel de soporte del equipo de ventas con productos y servicios digitales y acceso en tiempo real a los sistemas?
- a. Ninguna
 - b. Bajo
 - c. Medio
 - d. Alto
56. ¿Realiza análisis de rentabilidad en tiempo real?
- a. No
 - b. Si

57. ¿Utiliza sistemas de gestión de rendimiento en tiempo real y automatizado para la fuerza de venta?
- a. No
 - b. Si
58. ¿En qué medida están integrados los canales de venta?
- a. Ninguna
 - b. Bajo
 - c. Medio
 - d. Alto
59. ¿En qué medida utiliza los canales integrados para comunicarse con los clientes y gestionar la interacción con los clientes?
- a. Ninguna
 - b. Bajo
 - c. Medio
 - d. Alto
60. ¿En qué medida colabora con los socios estratégicos para llegar a los clientes (es decir, intercambio de información del cliente, etc.)?
- a. Ninguna
 - b. Bajo
 - c. Medio
 - d. Alto
61. ¿Qué análisis de contenido se realizan en las redes sociales?
- a. Ninguna
 - b. Análisis de los sentimientos
 - c. Análisis de tendencia

RECURSOS HUMANOS

62. ¿En qué áreas se recopilan o analizan datos?
- a. Análisis de capacidad: un proceso de gestión de talento que le permite identificar las capacidades o competencias centrales que desea y necesita en su negocio
 - b. Análisis de capacidad: busca establecer cómo las personas son operativamente eficientes en un negocio.
 - c. Análisis de adquisición de competencias: el proceso de evaluar qué tan bien o de lo contrario como su empresa adquiere las competencias deseadas

Hoja de ruta para la implementación de un sistema de manufactura basado en industria 4.0

- d. Análisis de abandono de empleados: el proceso de evaluar y comprender más sobre su cultura corporativa o las diferentes culturas que existen en su organización
 - e. Análisis de cultura corporativa: el proceso de evaluación de las tasas de rotación de personal en un intento de predecir el futuro y reducir la rotación de empleados
 - f. Análisis del canal de reclutamiento: el proceso de averiguar de dónde provienen sus mejores empleados y qué canales de reclutamiento son más efectivos
 - g. Análisis de liderazgo: desglosa las diversas dimensiones del desempeño del liderazgo a través de los datos obtenidos a través del uso de encuestas, grupos focales, entrevistas a los empleados o etnografía.
 - h. Análisis de desempeño del empleado: busca evaluar el desempeño individual.
63. ¿Puede su empresa compartir datos en tiempo real con empleados?
- a. No
 - b. Si
64. ¿La capacitación de los empleados se puede llevar a cabo en un entorno virtual?
- a. No
 - b. Si
65. ¿Cómo describiría el estado de la estrategia de recursos humanos en I 4.0?
- a. No necesitamos cambiar nuestra estrategia de recursos humanos
 - b. Estamos preparando una estrategia, pero aún no sabemos qué cambios en los procesos de recursos humanos
 - c. Estamos introduciendo una estrategia sobre cómo cambiar los requisitos de habilidades de los empleados (hemos adaptado los procesos: reclutamiento, capacitación, evaluación del personal)
 - d. Tenemos una estrategia bien establecida sobre cómo cambiar los requisitos de habilidades de nuestros empleados (hemos adaptado los procesos: reclutamiento, capacitación, evaluación del personal)
66. ¿Cómo preparas el conocimiento y las habilidades de tus empleados con respecto a los requisitos de I 4.0?
- a. No necesitamos capacitar a los empleados dentro de I 4.0
 - b. Necesitamos capacitar a los empleados. Pero no se ha planeado o preparado
 - c. Estamos preparando la Capacitación en Educación en la I 4.0
 - d. Los empleados ya han completado alguna capacitación de capacitación industrial para I 4.0

TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

67. ¿Qué tan avanzado estás con tus soluciones de seguridad de TI? Favor especificar: planificada, en progreso o implementada.
- Seguridad en el almacenamiento interno de datos
 - Seguridad de datos a través de servicios en la nube
 - Seguridad de las comunicaciones para el intercambio de datos interno
 - Seguridad de las comunicaciones para el intercambio de datos con los socios comerciales
68. ¿Ya estás usando servicios en la nube? Favor especifique si se trata de: software basado en la nube, para el análisis de datos o para el almacenamiento de datos
- Producción, Logística y Adquisiciones
 - I + D - Desarrollo de productos
 - Servicios posventa
 - Canales de venta y distribución
 - Precio / Promoción
 - Recursos humanos
 - Tecnología / Información
 - Finanzas
69. ¿Hay tableros que se utilizan para la trazabilidad en tiempo real de los procesos de la empresa?
- No
 - Si
70. ¿Cómo evaluaría la infraestructura de sus equipos cuando se trata de las siguientes funcionalidades? Favor especifique: no disponible, hasta cierto punto o completamente.
- Las máquinas / sistemas se pueden controlar a través de TI
 - M2M: comunicaciones de máquina a máquina
 - Interoperabilidad: integración y colaboración con otras máquinas / sistemas posibles

FINANZAS INTELIGENTES

71. ¿Realiza cálculos de costos en tiempo real con datos obtenidos de la producción?
- No
 - Si
72. ¿Analiza el flujo de caja y las inversiones de la empresa de forma histórica?

**Hoja de ruta para la implementación de un
sistema de manufactura basado en industria 4.0**

- a. No
 - b. Si
73. ¿En qué medida utiliza datos financieros cuando toma una decisión de inversión?
- a. Ninguna
 - b. Bajo
 - c. Medio
 - d. Alto
74. ¿En qué medida están automatizados sus sistemas financieros?
- a. Ninguna
 - b. Bajo
 - c. Medio
 - d. Alto
75. ¿Cómo se realiza la medición del riesgo financiero?
- a. No se mide
 - b. Bases históricas
 - c. Tiempo real

ADAPTACIÓN A INDUSTRIA 4.0 DEL PROCESO DE ENTREGA DOMICILIARIA DE UNA EMPRESA DISTRIBUIDORA DE ELECTRODOMÉSTICOS

Jhon Harry Quintero Salgado, MSc

Juan Carlos Garzón, Ph.D

Citación

Quintero, J. H. & Garzón, J. C. (2021). Adaptación a industria 4.0 del proceso de entrega domiciliaria de una empresa distribuidora de electrodomésticos. En *Bitácoras de la maestría: vol. 8. Industria 4.0 - Gestión del conocimiento* (pp. 93-140). Universidad Icesi.

RESUMEN

Luego de la presentación de los conceptos relacionados con la industria 4.0, se propone su adaptación al proceso de entrega domiciliaria de los productos de una empresa distribuidora de electrodomésticos en Colombia. El trabajo de investigación parte de un proceso que se desarrolla de manera análoga e identifica y propone el uso de elementos propios de la industria 4.0 en cada una de las etapas del proceso. La aplicación del conjunto de elementos propuesto permite adaptar el actual proceso análogo a un ecosistema digital, con lo que se espera mejorar los niveles de servicio de la empresa al ofrecer un servicio diferenciador, más efectivo y oportuno en el manejo de la información dentro de la cadena de valor.

INTRODUCCIÓN

El mundo se enfrenta desde hace varios años a la apertura de fronteras y a la globalización, ambos fenómenos apalancados por la tecnología y la colaboración (Bonaglia et al., 2007), en mercados que tradicionalmente se han orientado hacia lo doméstico. Las empresas globales han demostrado cómo las ventajas competitivas se pueden asegurar a través de operaciones globalizadas y servicio, situación que no es ajena a la industria de electrodomésticos de línea blanca, pues como lo demuestran Bonaglia et al. (2007), sus líderes han prosperado al lograr economías de escala, mejor control de los canales de distribución y una innovación bastante simple: frente a la disminución de los precios han replanteado sus estrategias, invirtiendo fuertemente en investigación, desarrollo e innovación [I + D + innovación].

En concordancia con el control de los canales de distribución y la innovación como ventajas competitivas dentro del sector, es preponderante el papel de la cadena de suministro. Como mencionan Koch et al. (2014), detrás del gran potencial de la cadena de suministro digital [DSC, *Digital Supply Chain*] se encuentra la cuarta revolución industrial, la industria 4.0 [I 4.0]. En la primera se produjo una transformación en la producción y la automatización mediante la energía de vapor y agua; en la segunda mediante la electrificación; y en la tercera con el uso de la computadora. La industria 4.0, la digitalización, se trata de empresas que se orientan hacia el cliente a través del comercio electrónico, el marketing digital, las redes sociales y la experiencia del cliente. En última instancia, prácticamente todos los aspectos del negocio se transformarán a través de la integración vertical; la investigación y desarrollo; la fabricación, comercialización, ventas y otras operaciones internas; y los nuevos modelos comerciales basados en estos avances. En efecto, el mundo está evolucionando hacia el ecosistema digital completo.

De acuerdo con Yu et al. (2017), la tecnología de la información juega un papel esencial en mejorar la eficiencia y la efectividad de la gestión de la cadena de suministro. Tecnologías como la Internet de las cosas [*Internet of Things*, IoT], el análisis de *big data* y la computación en la nube podrían ser adoptadas para mejorar la logística del comercio electrónico a nivel de los sistemas de información y del nivel operativo y para la toma de decisiones en tiempo real, facilitando así una mayor orientación hacia el cliente, con mayor oportunidad en las respuestas y mejor atención a sus necesidades.

Para Tjahjono et al. (2017), la implementación de tecnologías que se consideran elementos de la I 4.0 –tales como: la realidad virtual, la realidad aumentada, la impresión 3D, la simulación, el análisis de *big data*, la tecnología en la nube, la ciberseguridad, la IoT, la miniaturización de la electrónica, la identificación y captura automática de datos [AIDC, *Automatic Identification and Data Capture*]; la identificación por radio frecuencia [RFID, *Radio Frequency ID*], la robótica, el uso de drones; la nanotecnología, la comunicación entre máquinas [*Machine to Machine*, M2M] y la inteligencia de negocios [BI, *Business Intelligence*]–, podrían brindar beneficios claros a partir de la implementación de la I 4.0, en donde lo más relevante es la mayor flexibilidad y los estándares de calidad, eficiencia y productividad, que permiten la personalización masiva y, con ello, satisfacer la demanda de los clientes y crear valor a través de la constante introducción de nuevos productos y servicios.

Bajo este contexto es necesario que la industria vaya pensando en la manera de ajustar los procesos de su cadena de valor, buscando una mayor orientación al servicio durante la entrega de sus productos al consumidor final, a través de esquemas colaborativos con clientes y proveedores, en los cuales es de gran relevancia tener flujos de información adecuados bajo un ecosistema digital, garantizando que los clientes puedan interactuar directamente con los operadores logísticos cuando están esperando la entrega de sus productos, algo que se puede lograr mediante el análisis de datos, el uso de herramientas de rastreo de entregas, la automatización de instalaciones y el almacenamiento de información en la nube, entre otras (Yu et al., 2017).

La compañía donde se desarrolló la investigación ha establecido 95 % como nivel de cumplimiento meta de su proceso de entregas domiciliarias; durante 2018 logró 88 %. Es claro que los incumplimientos afectan la experiencia de compra del consumidor final y, por consiguiente, su reputación, lo que explica la necesidad de mejorar ese nivel de cumplimiento. Para apoyar este propósito, el proyecto definió como objetivo realizar una propuesta para la adaptación a la I 4.0 de su proceso logístico de entrega domiciliaria de electrodomésticos de línea blanca. El producto final incluye un análisis de la situación actual y una propuesta detallada, en la que se explica el uso de veintidós tecnologías propias de la I 4.0, las cuales se recomienda implementar en el citado proceso de entregas domiciliarias. Se espera que evolucionar este proceso desde una instancia análoga hacia un ecosistema de la I 4.0 le va a generar valor al consumidor final y con ello se va a aumentar la recordación y a mejorar

el posicionamiento de la compañía, sus productos y servicios. Se espera así, más allá del aumento del indicador de nivel de servicio, poder ofrecer un servicio diferenciador, con mayor efectividad y oportunidad en el manejo de la información dentro de la cadena de valor, con mayor visibilidad entre todos sus participantes y con un mayor aprovechamiento de los datos que se generan en las diferentes instancias del proceso.

MARCO TEÓRICO

Desde que el nombre industria 4.0 se acuñó en Alemania en el marco de la Feria de Hannover de 2011, ha atraído la atención de académicos, profesionales, funcionarios gubernamentales y políticos de todo el mundo. Es considerada como la tendencia actual hacia la automatización e intercambio de datos en tecnologías de fabricación que incluyen, entre otros, los siguientes elementos: sistemas ciberfísicos [CPS, *Cyber Physycs Systems*], IoT y computación en la nube [*cloud computing*] (Sung, 2017).

En general, la industria 4.0 abarca el desarrollo e integración de información y tecnologías innovadoras de comunicación en la industria. Su objetivo principal es fomentar la red inteligente de productos y procesos a lo largo de la cadena de valor, para así utilizar de manera más eficiente los procesos organizacionales en la creación de bienes y servicios, y mejorar el beneficio al cliente ofreciéndole productos y servicios novedosos (Barreto et al., 2017).

Sin alejarse mucho de las definiciones de otros investigadores, Tjahjono et al. (2017), argumentan que

... la Industria 4.0 específicamente implica un cambio radical en la forma en que operan los pisos de los talleres de producción. Definido por muchos como una transformación global de la industria manufacturera mediante la introducción de la digitalización e Internet, estas transformaciones consideran mejoras revolucionarias en los procesos de diseño y fabricación, operaciones y servicios de fabricación de productos y sistemas. Aunque acuñado en Alemania, la noción de Industria 4.0, en gran medida, comparte puntos en común con desarrollos en otros países europeos donde ha sido etiquetada de manera diferente, por ejemplo, fábricas inteligentes, industria inteligente, fabricación avanzada o Internet industrial de las cosas.

PRINCIPIOS DE LA INDUSTRIA 4.0

Como se muestra en la FIGURA 1, hay cuatro principios que componen el diseño de la industria 4.0: interconexión, visibilidad en la información, decisiones descentralizadas y asistencia técnica (Hermann et al., 2016).



Figura 1. Principios de diseño de la industria 4.0 (Hermann et al., 2016)

En cuanto a la interconexión, máquinas, dispositivos, sensores y personas son conectados sobre la IoT y la Internet de las personas [IoP, *Internet of Persons*], formando la Internet de todo [IoE, *Internet of Everything*]. Las tecnologías de comunicación inalámbrica juegan un papel destacado en la interacción, ya que permiten el acceso a la Internet de manera propagada. A través del IoE, objetos y personas interconectados pueden compartir información, lo que constituye la base de una colaboración articulada para alcanzar objetivos comunes.

Hay tres tipos de colaboración dentro de la IoE: humano-humano, humano-máquina y máquina-máquina. Para conectar máquinas, dispositivos, sensores y personas con los demás, los estándares de comunicación son de gran importancia pues permiten flexibilidad en la combinación de máquinas modulares de diferentes proveedores. Esa modularización a su vez permite que las fábricas inteligentes en la industria 4.0 sean flexibles y puedan adaptarse a la demanda fluctuante del mercado y a los pedidos personalizados.

A medida que crece el número de participantes en la IoE, se incrementa el número de ataques nocivos contra las instalaciones de producción en la Industria 4.0 y, en consecuencia, aumenta la necesidad de la seguridad cibernética. Habilitado por el creciente número de objetos y personas interconectadas, la fusión del mundo físico y virtual permite una nueva forma de visualizar la

información. A través del enlace de sensores de datos con modelos de plantas digitalizadas, se crea una copia del mundo físico. La información sensible al contexto es indispensable para que los participantes del IoE tomen decisiones apropiadas. Los sistemas sensibles al contexto cumplen sus tareas en función de la información proveniente de los mundos virtual y físico. Ejemplos de información del mundo virtual son los documentos electrónicos, los dibujos y los modelos de simulación, mientras que ejemplos de información del mundo físico son la posición o condiciones de una herramienta.

Para analizar el mundo físico, los datos de sensores sin procesar deben agregarse a un contexto de mayor valor y la información debe ser procesada e interpretada. Con el propósito de crear transparencia, los resultados del análisis de datos deben ser integrados en sistemas de asistencia accesibles para todos los participantes en el IoE. Para procesos críticos, la provisión de información en tiempo real es de mucha importancia.

Las decisiones descentralizadas, por su parte, se basan en la interconexión de objetos y personas, así como en la transparencia en la información desde dentro y fuera de una instalación de producción. La combinación de los responsables de la toma de decisiones, interconectados y descentralizados, permite utilizar información local y global al mismo tiempo y así tomar mejores decisiones y aumentar la productividad en general. Los participantes de la IoE realizan sus tareas de una manera tan autónoma como sea posible; solo en caso de excepciones, interferencias u objetivos en conflicto, las tareas son llevadas a un nivel superior. Desde un punto de vista técnico, la descentralización de las decisiones está habilitado por CPS. La integración de computadoras, sensores y actores permite el monitoreo y control del mundo físico de manera autónoma.

En las fábricas inteligentes de la industria 4.0, el papel principal de los humanos cambia de un operador de máquinas hacia un decisor estratégico y un solucionador flexible de problemas. Debido a la creciente complejidad de la producción, donde CPS forma redes complejas, y a la toma decisiones descentralizadas, los humanos necesitan ser apoyados por sistemas de asistencia, los cuales necesitan agregar y visualizar información de manera comprensible para asegurar que los humanos puedan tomar decisiones y resolver problemas urgentes informados con poca antelación.

Actualmente, los teléfonos inteligentes y las tabletas juegan un papel central cuando se trata de conectar a las personas con la IoT. Se predice que los dispositivos portátiles se volverán cada vez más importante en el futuro, tan

pronto como los desafíos actuales superen el suministro de energía. Con más avances en robótica, el apoyo de los robots a los humanos se considera como otro aspecto de la asistencia técnica, ya que los robots son capaces de realizar una serie de tareas agotadoras o inseguras para los humanos. Para tener un apoyo eficaz, exitoso y seguro de los humanos en tareas físicas es necesario que los robots interactúen sin problemas e intuitivamente con los seres humanos, como sus contrapartes, y que los humanos estén debidamente entrenados para este tipo de colaboración humano-máquina.

En general, la I 4.0 abarca el desarrollo e integración de información innovadora y tecnologías de comunicación en la industria. Su objetivo principal es fomentar la red inteligente de productos y procesos a lo largo de la cadena de valor, lo que le permite utilizar de manera más eficiente los procesos organizacionales en la creación de bienes y servicios, para mejorar el beneficio para el cliente ofreciéndoles productos y servicios novedosos.

DIGITALIZACIÓN EN LA LOGÍSTICA

Este es otro concepto en el que se incluyen los elementos de la industria 4.0. Kayikci (2018) indica que “la digitalización significa básicamente capturar una señal analógica y convertirla en formato digital para el propósito de generar una representación digital que pueda ser almacenada o procesada electrónicamente”. Agrega que mientras mejor se capture y más disponible esté la información, mejor puede ser tomada para aumentar la capacidad de respuesta a los clientes y brindarles servicios más eficientes y transparentes mediante la analítica de datos. En ese escenario, entran a formar parte otros elementos de la industria 4.0, como son la hiperconectividad, la *big data* y la *data mining*, lo que puede repercutir en ahorros para una compañía, entre otros beneficios a nivel de sostenibilidad y servicio.

El ecosistema de logística digital se basa en cuatro habilitadores clave: tecnología, proceso, organización y conocimiento. La integración de la tecnología y las aplicaciones con una buena gestión del conocimiento en las organizaciones y los procesos comerciales es fundamental para el éxito de las estrategias de la logística digital.

La digitalización en logística se basa en seis características:

- **Cooperación.** Las acciones cooperativas se basan en el intercambio de información e integración de datos y una arquitectura para soportar *clusters*

de logística virtual. La cooperación permite llegar a los niveles requeridos de integración y estandarización de procesos.

- **Conectividad.** Se refiere a la capacidad de una tecnología para actuar como una interfaz a otros recursos digitales en la red o para aceptar una conexión de otro recurso. La digitalización, a través de la conectividad, permite la integración vertical desde el proveedor para la integración con el cliente, como la integración horizontal entre otros socios comerciales a lo largo de la cadena de suministro con el fin de mantener la visibilidad de extremo a extremo. El sistema de logística se hace más inteligente y aumenta productividad a través de procesos de autorregulación para evitar errores e interrupciones no planificadas.
- **Adaptabilidad.** La digitalización se refiere a un sistema dinámico adaptable y abierto que se caracteriza porque sus componentes y relaciones cambian con el tiempo y pueden verse influenciados por eventos fuera de los límites del sistema.
- **Integración.** Se refiere a la capacidad del sistema para conectar, integrar, monetizar y compartir cualquier dato, dispositivo, sistema y proceso en tiempo cercano o real en la economía digital. En tecnología de la información, la integración de sistemas logísticos es el proceso de unir diferentes sistemas informáticos y aplicaciones de software, y física o funcionalmente actuar como un flujo logístico integral coordinado. Agrega un valor adicional debido a las interacciones entre los subsistemas logísticos. Hay tres tipos de integración posibles: horizontal, a través de redes de valor; vertical y de sistemas de logística en red; y digital, de extremo a extremo en toda la cadena de valor.
- **Control autónomo.** La digitalización permite una toma de decisiones autónoma—literalmente actuar independientemente y sin control externo—, y descentralizada. Diariamente se pueden recopilar y analizar muchos eventos en tiempo real (*i.e.*, sensores, satélites, radares, videocámaras y teléfonos inteligentes). En aplicaciones de logística, el algoritmo rastrea el movimiento de envíos en tiempo real y calcula su hora estimada de llegada, teniendo en cuenta el impacto de las condiciones climáticas, la congestión de un puerto y los desastres naturales.
- **Cognición.** Las funciones de la logística experimentan un cambio fundamental con el desarrollo de tecnologías como las de inteligencia artificial [AI, *Artificial Intelligence*] y el uso de robots y drones para el

movimiento de mercancías nacionales e internacionales. Aquellas tecnologías y aplicaciones, tales como robots móviles autónomos, vehículos de tierra no tripulados y vehículos autónomos, afectan profundamente el éxito actual y futuro de la industria logística, además. Los vehículos autónomos tienen un mayor potencial para reducir los accidentes y mejorar la seguridad vial.

Una logística digital diseñada con las seis características mencionadas y con tecnologías como: IoT, AI, realidad aumentada y *big data*, brindan beneficios significativos para administrar, planificar y sincronizar las operaciones de logística, puesto que proporcionan visibilidad y transparencia en tiempo real a lo largo de toda la cadena de suministro y eficiencia para las cadenas de transporte y centros logísticos, de optimización a través de análisis de datos, recolección de información y ubicación a través de la computación en la nube, junto con una baja complejidad en la gestión a través de la toma de decisiones autónomas y descentralizadas y una mejor automatización a través de interacción humano-máquina, reduciendo fallas en procesos complejos y permitiendo la experiencia integral del consumidor a través de soluciones de realidad aumentada. Además, estas tecnologías digitales permiten a las empresas reaccionar a tiempo a las interrupciones a lo largo de la cadena de suministro y adaptar los cambios en los procesos de logística, incluso predecir posibles riesgos modelando el sistema con el análisis de escenarios hipotéticos.

La FIGURA 2 corresponde al mapeo de un ecosistema de logística digital sostenible y muestra cómo la digitalización impacta la logística desde la perspectiva de las dimensiones de sostenibilidad económica, ambiental y social.

ELEMENTOS DE LA INDUSTRIA 4.0

Para Hermann et al. (2016), existen cuatro componentes clave en la I 4.0: los sistemas ciberfísicos [CPS], la Internet de las cosas, la Internet de los Servicios [IoS, *Internet of Services*] y la fábrica inteligente. Además de ellos, hay otros elementos que conforman las tecnologías de la industria 4.0, entre ellos: la computación en la nube; el *big data* y la analítica avanzada; la identificación por radiofrecuencia; los vehículos autónomos guiados, las interfaces humano-máquina; las redes de control de supervisión y adquisición de datos; los sistemas de ejecución de manufactura; la gestión del mantenimiento asistida por computador; la fabricación aditiva; la realidad aumentada; las tecnologías de energía eficientes; la robótica colaborativa y los exoesqueletos; la inteligencia

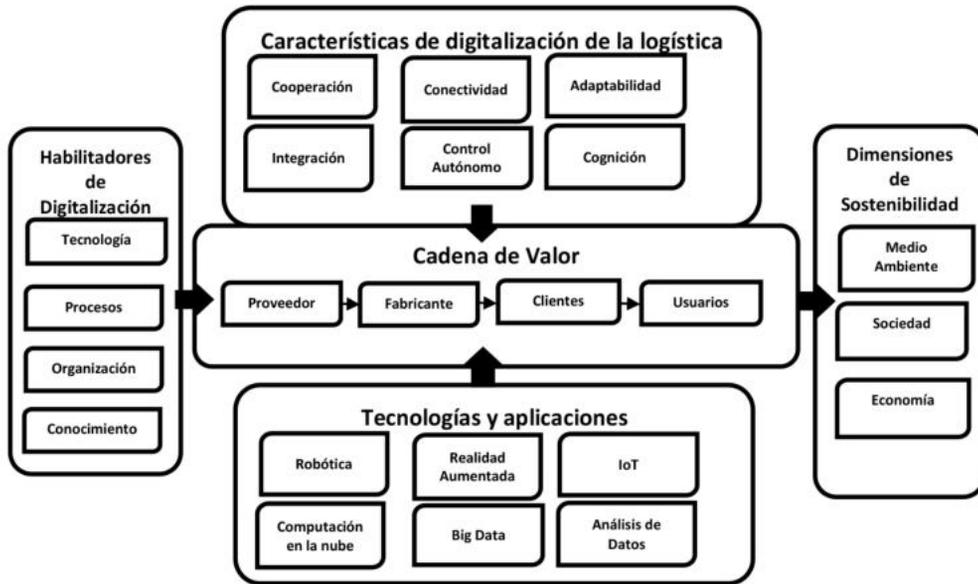


Figura 2. Ecosistema de la logística digital sostenible (Hermann et al., 2016)

artificial y el aprendizaje automático; la ciberseguridad; las plataformas colaborativas; la administración del ciclo de vida del producto; el gemelo digital; y DevOps. A continuación se describe brevemente cada uno de ellos.

SISTEMAS CIBERFÍSICOS

Los CPS se pueden considerar como sistemas que unen el mundo físico con el mundo virtual. Más precisamente, los sistemas ciberfísicos son integraciones de computación con procesos físicos, computadoras y redes integradas con el fin de monitorear y controlar los procesos físicos, generalmente con bucles donde los procesos físicos afectan los cálculos y viceversa. En el contexto de la fabricación esto significa que la información relacionada con el mundo físico y el espacio virtual computacional está altamente sincronizada, lo que permite un mayor grado de control, vigilancia, transparencia y eficiencia en el proceso de producción. Con respecto a su estructura, CPS tiene dos redes paralelas de control: una red física de componentes interconectados con la infraestructura y una red cibernética compuesta por controladores inteligentes con enlaces de comunicación entre ellos. CPS se da cuenta de la integración de estas redes a

través del uso de múltiples sensores, actuadores, unidades de procesamiento de control y dispositivos intercomunicados.

Para Shafiq et al. (2015), CPS se refiere a la convergencia de los mundos físico y digital mediante el establecimiento de redes para empresas que incorporan su maquinaria, sistemas de almacenamiento e instalaciones de producción. En el entorno de fabricación, estos CPS incluyen dispositivos inteligentes, máquinas, sistemas de almacenamiento e instalaciones de producción capaces de intercambiar información de forma autónoma, activando acciones y controlándose unos a otros de manera independiente. Para lograr esta visión, es necesario capturar, analizar e interactuar con lo real (físico) y lo virtual (digital / cibernética) dentro del mundo de la producción, con un alto nivel de precisión en todas las dimensiones (espacial y temporal).

Para Zhang (2018), el futuro sistema basado en CPS para el transporte puede transmitir y procesar señales en tiempo real a través de dispositivos inteligentes dispersos entre carreteras, vehículos y peatones, algo de gran importancia para el análisis macro y la predicción del flujo, el comportamiento, la automatización y la inteligencia en la gestión del tráfico. El autor concluye que el CPS:

- tiene la habilidad de integrar profundamente la inteligencia computacional, la comunicación y el control en un sistema físico;
- mejora la adaptabilidad de los sistemas físicos con dispositivos de detección de información, dispositivos de ejecución y componentes funcionales reconfigurables; y
- tiene la ventaja de tener una alta adaptabilidad, automatización, eficiencia, seguridad y disponibilidad, y buena adaptabilidad para la solución de problemas de rutas logísticas

Este último aspecto es de alta relevancia porque las decisiones sobre una ruta de transporte son muy importantes en la logística, dado que afectan directamente al costo y a la eficiencia.

INTERNET DE LAS COSAS

El concepto de IoT fue creado por Kevin Ashton, la idea fue formulada en 1999 para describir un sistema en el cual el mundo material se comunica con computadoras (intercambio de datos) a través de sensores. Casi una década más tarde, a finales de 2008 y 2009, el número de dispositivos conectados a la red excedió el número de habitantes del planeta.

Con este enfoque, se crea un sistema, no solo de objetos sino también de procesos, datos, personas e incluso animales o fenómenos atmosféricos, todo lo que se pueda tratar como una variable. Tres características distintivas de la IoT son: el contexto, la omnipresencia y la optimización. El contexto se refiere a la posibilidad de una interacción de objetos avanzada con un entorno existente y la respuesta inmediata a cambios, esta característica permite que los objetos proporcionen información como ubicación, condición física o condiciones atmosféricas; la omnipresencia ilustra el hecho de que los objetos de hoy son mucho más que simples conexiones con una red de usuarios de operadores humanos, en un futuro cercano, se comunicarán entre sí a gran escala; la IoT permite que cosas u objetos, como RFID, sensores, actuadores, dispositivos móviles y teléfonos interactúen entre sí a través de esquemas de direccionamiento únicos y cooperen con sus componentes vecinos “inteligentes” para alcanzar objetivos (Witkowski, 2017).

Para Hermann et al. (2016), la IoT se refiere a sistemas que se comunican y cooperan, entre sí y con humanos, en tiempo real, a través de servicios de Internet, mediante los cuales ambos servicios—internos e interorganizacionales—, se ofrecen y son utilizados por participantes a lo largo de la cadena de valor.

De acuerdo con Zhang (2018), la IoT “se basa en la computadora conectada a internet, RFID Inalámbrico, sensores inalámbricos y otros equipo de detección de información, cubriendo una gran cantidad de elementos para lograr una identificación, posicionamiento, seguimiento, transmisión y gestión inteligente”.

INTERNET DE LOS SERVICIOS

En estos días, cuando a menudo se escucha que vivimos en la sociedad de servicio, hay fuertes indicios de que la IoS está surgiendo, con base en la idea de que los servicios están hechos para ser fácilmente disponibles a través de tecnologías web, lo que le permite a las empresas y los usuarios privados crear y ofrecer un nuevo tipo de servicios adicionales que generan valor.

Se puede suponer que en el mercado basado en la Internet, los sitios de servicios desempeñarán un papel clave en las industrias futuras. Mientras desde una perspectiva puramente tecnológica, conceptos tales como la arquitectura orientada por el servicio [SOA, *Service Oriented Architecture*], el software como servicio [SaaS, *Software as a Service*] y la externalización de procesos comerciales

[BPO, *Business Process Outsourcing*] están estrechamente relacionados con ellos, proponen una definición más amplia del término servicio, como...

... una transacción comercial en la que una parte otorga acceso temporal a los recursos de otra parte para realizar una función prescrita y un beneficio relacionado, recursos que pueden ser mano de obra humana y habilidades, sistemas técnicos, información, bienes de consumo, tierra y otros. (Hofmann & Rüschi, 2017)

FÁBRICA INTELIGENTE

Este concepto se basa en la idea de un sistema de producción descentralizado, en el cual los seres humanos, las máquinas y los recursos se comunican entre sí de forma tan natural, como en una red social. El estrecho vínculo y la comunicación entre productos, maquinaria, sistemas de transporte y personas se espera que cambie la lógica de producción existente. Por lo tanto, el término fábrica inteligente puede ser considerado otra característica clave de la I 4.0. En la fábrica inteligente, los productos deben encontrar su camino de forma independiente, a través de la producción, y son fácilmente identificables y localizables en cualquier momento, persiguiendo la idea de una relación costo-eficiente altamente flexible y una producción en masa individualizada. Se debe tener en cuenta que las fábricas inteligentes hacen que la complejidad de los procesos de fabricación sea cada vez más manejable para las personas que trabajan allí y se asegura de que la producción puede ser simultáneamente atractiva, sostenible en un entorno urbano y rentable. Por lo anterior, se espera que el potencial que venga junto con las fábricas inteligentes sea enorme. Es importante entender que no solo los procesos de producción cambian, sino que se espera que también cambien las funciones de los empleados dramáticamente, que ellos tengan responsabilidad para actuar como tomadores de decisiones y asumir la supervisión de tareas, en lugar de conducir montacargas, por ejemplo (Hofmann & Rüschi, 2017).

Una fábrica inteligente, para Radziwon et al. (2014)...

... es una solución de fabricación que proporciona procesos de producción tan flexibles y adaptables que pueden resolver problemas que surgen en una planta de producción con condiciones de frontera dinámicas y rápidamente cambiantes en un mundo de complejidad creciente. Esta solución especial podría estar relacionada, por un

lado, con la automatización, entendida como una combinación de software, hardware y/o mecánica, que debe conducir a la optimización de la fabricación con una reducción de mano de obra innecesaria y reducción en el desperdicio de recursos. Por otro lado, podría verse en una perspectiva de colaboración entre diferentes socios industriales y no industriales, donde la inteligencia proviene de la formación de una organización dinámica.

De acuerdo con Chen et al. (2018), en una fábrica inteligente el sistema de fabricación tiene capacidad de percepción, interconexión e integración de datos, y se utilizan el análisis de datos y la decisión científica para lograr la programación de la producción, el servicio del equipo y el control de calidad de los productos. Adicionalmente, introducen la IoS para virtualizar los recursos de fabricación desde una base de datos local al servidor en la nube a través de la interacción hombre-máquina, de esta forma se construye el proceso de colaboración global de fabricación inteligente orientado al mercado, impulsado por los pedidos.

Por lo tanto, la fábrica inteligente representa un sistema de ingeniería que consta principalmente de tres aspectos: interconexión, colaboración y ejecución,

... debe integrar los recursos de datos como lo son las cadenas de suministro, datos de productos y datos logísticos en la plataforma de servicio, los cuales proporciona información de los productos como previsión de ventas y análisis de calidad. (Chen et al., 2018)

COMPUTACIÓN EN LA NUBE

Es una infraestructura de sistemas sofisticados de tres capas que proporciona computación bajo demanda para cualquier persona dentro de una conexión de red de un proveedor de servicios tercerizado. La ventaja de usar la computación en la nube es la accesibilidad a los datos y aplicaciones desde cualquier lugar, en cualquier momento y con cualquier dispositivo web permitido. La computación en la nube también tiene un efecto positivo en la integración de almacenes, ya que integra los flujos de información y los flujos físicos brindando flexibilidad y agilidad, y facilitando el intercambio de recursos entre los actores del ciclo de vida de la cadena de suministro (Gupta & Jones, 2014).

Según Atobishi et al. (2018), la computación en la nube es un modelo conveniente para habilitar el acceso en la red a un grupo compartido de

recursos informáticos configurables –redes, servidores, almacenamiento de datos, aplicaciones y servicios, etc.–, que se puede aprovisionar y liberar rápidamente con un mínimo esfuerzo o servicio administrativo del proveedor. Se espera que la computación en la nube juegue un rol vital en la industria 4.0. Es considerada un elemento básicos del CPS, ya que permite tener a compañías multinacionales conectadas inclusive con otras compañías, compartiendo información a través de la nube, detectando y corrigiendo problemas que se puedan presentar en las máquinas de una planta de producción, desde la distancia. Uno de los mayores desafíos de la computación en la nube tiene que ver con la seguridad de la información, ya que presenta la vulnerabilidad de tener información suelta y el riesgo de suplantación de identidad.

BIG DATA Y ANALÍTICA AVANZADA

Son conceptos que surgen como resultado de la gran cantidad de datos que se producen hoy. Entre 2005 y 2020 la cantidad de datos digitales aumentó de 130 exabytes a 40.000 exabytes; y a partir de 2020, se espera que la cantidad de datos se duplique cada dos años. El término de *big data* fue acuñado para referirse a esta nueva tendencia (Atobishi et al., 2018) y se refiere al volumen de datos adquiridos con velocidad, el que por su gran tamaño limita la capacidad de realizar análisis efectivos usando enfoques relacionales tradicionales o requiere el uso de una escala horizontal significativa para su procesamiento eficiente (Atobishi et al., 2018). Se define también como: “alto volumen, alta velocidad y/o alta variedad de información que exige formas de procesamiento innovadoras y rentables que permitan una mejor comprensión, toma de decisiones y automatización de procesos” (Santos et al., 2017). Recientemente el *big data* y la analítica avanzada se han utilizado para describir los grandes conjuntos de datos (desde terabytes hasta exabytes) y las técnicas de recolección y análisis para las que se requieren tecnologías únicas y avanzadas de almacenamiento, gestión, análisis y visualización (Chen et al., 2012).

RADIO FREQUENCY ID

EFID es una tecnología automática de identificación de objetos y recolección de datos basada en ondas de radio, se trata de un par de dispositivos de radiofrecuencia transmisor/receptor, donde uno de ellos (la etiqueta) transmite su identidad a la otra (el lector de etiquetas). Esta tecnología generalmente incluye un sistema de administración de información para procesar y transferir

los datos producidos. La etiqueta se adjunta a un producto para identificarlo y su microcircuito incluye un código único u otra información que puede ser leída y posiblemente modificada usando un lector provisto de una antena que emite ondas de radio a la cual la etiqueta responde enviando sus datos. El lector está conectado a un sistema de gestión de información, que se puede utilizar para procesar la información incluida en la etiqueta. En general, esto incluye un servidor conectado a una base de datos y un software de administración del sistema con una conexión a programas en segundo plano, como los ERP [*Enterprise Resource Planning*] (Liukkonen, 2015).

VEHÍCULOS AUTÓMATAS GUIADOS

Los AGV [*Automated Guided Vehicles*] son vehículos no tripulados que navegan usando guías y métodos de control, y se utilizan para el procesamiento y transporte de mercancías dentro de una fábrica. Su forma, tamaño y funcionamiento depende de su uso. Los AGV son dispositivos inteligentes que pueden utilizarse para la toma de decisiones descentralizadas para planificar rutas y evitar colisiones (Mehami et al., 2018). Están diseñados principalmente para mover material de un lugar a otro, por lo que son comúnmente utilizados en plantas de fabricación, almacenes y centros de distribución. Para la navegación, los AGV utilizan principalmente rutas de carril, rutas de señal o señalizaciones, usando sensores ópticos, sensores láser, sensores magnéticos y cámaras. Los AGV modernos son libres, sus rutas están programadas por software y se personalizan cuando son nuevas, agregándoles estaciones y flujos. También pueden ser programados para detectar obstáculos y peligro en sus rutas (Jaiganesh, 2014).

INTERFACES HUMANO-MÁQUINA

Una HMI [*Human Machine Interface*], de acuerdo con Ren et al. (2017), debe ser: suficientemente intuitiva, para que el sistema sea fácil de usar y el usuario obtenga una experiencia superior; interactiva, pues el sistema debe permitir interacciones efectivas y naturales con los usuarios para tomar sus aportes –de forma activa o pasiva–, y proporcionar comentarios adecuados, ya que la interacción natural es la clave para que el sistema capacite a los usuarios; e inteligente, porque la máquina debe poder aprovechar o combinar sin problemas tanto el *big data* como el conocimiento de dominio de humanos para proporcionar asistencia y recomendaciones inteligentes.

Algunas tecnologías de HMI relevantes son: los sistemas de diálogo, que manejan el diálogo entre personas y máquinas, mediante una interfaz de lenguaje natural, por ejemplo; los dispositivos de control físicos, tales como teclados, ratones, *joysticks*, *trackballs*, volante, pedales, mandos e interruptores; los dispositivos de control digitales, como es el caso de los botones, controles deslizantes y botones de menú, , mejorados con tecnología háptica; las pantallas multimodales multimedia, que proporcionan múltiples modos de interacción entre un operador y un sistema; y las interfaces adaptativas, que adaptan su diseño y elementos a las necesidades de un operador o a un contexto inteligente (Romero et al., 2016).

LAS REDES DE CONTROL DE SUPERVISIÓN Y ADQUISICIÓN DE DATOS

Las redes SCADA [*Supervisory Control And Data Aquisition*] se utilizan para controlar y monitorear dispositivos de campo desde una estación central, son comunes en las compañías de servicios públicos e infraestructura para la administración de ferrocarriles y sistemas de transporte público y para la generación y transmisión de energía eléctrica, petróleo, gas, productos químicos y agua. Las redes SCADA permiten operar de manera remota muchos dispositivos, como interruptores de pista, señales de tráfico, interruptores eléctricos, válvulas, relés, sensores de agua y bombas de gas (Patel et al., 2009). Las Scada son redes y dispositivos especiales basados en computadora que están diseñados para monitorear y controlar infraestructuras e industrias. En las redes SCADA, los sistemas de adquisición y transmisión de datos y el software HMI se integran para proporcionar un sistema de control y monitoreo centralizado para procesar salidas y entradas.

Las redes SCADA también se utilizan para recopilar información de campo, transferirla a una instalación central de computadoras y mostrar la información para los usuarios de forma gráfica o en texto. Como resultado, permite a los usuarios monitorear y controlar en tiempo real una red completa desde una ubicación remota. Están diseñados específicamente para manejar los desafíos de la comunicación a larga distancia, como la pérdida de datos y los retrasos causados por los diversos medios de comunicación utilizados; además, su software está programado para indicar a la red SCADA qué debe monitorizarse y cuándo, qué rangos de parámetros son aceptables y qué respuesta debe iniciarse cuando los parámetros salen de esos valores aceptables (Rezai et al., 2017).

SISTEMAS DE EJECUCIÓN DE MANUFACTURA

Los MES [*Manufacturing Execution Systems*] son herramientas de tecnología comúnmente implementadas en compañías involucradas en sistemas tradicionales de fabricación. Un MES permite el intercambio de información entre el nivel organizativo, comúnmente apoyado por un ERP, y los sistemas de control de taller, que generalmente consisten en diferentes aplicaciones de software altamente personalizadas. Los MES se implementaron inicialmente en industrias químicas y farmacéuticas y durante mucho tiempo fueron considerados útiles solo para las grandes industrias, pero desde inicios de 2000 se entendió que pueden apoyar y ser rentables incluso en empresas más pequeñas.

Un MES tiene dos fines principales. El primero consiste en que el sistema debe soportar el flujo de datos de arriba hacia abajo; los requisitos y las necesidades que proporciona el nivel organizativo deben transformarse en una planificación de secuencia óptima que cumpla dichos objetivos y esta secuencia debe identificarse aprovechando mejor los recursos disponibles (como personal, máquinas, materiales, inventario) y teniendo en cuenta las limitaciones del proceso, como los tiempos de procesamiento y configuración y la capacidad de las estaciones de trabajo. El segundo fin es gestionar el flujo ascendente de los datos relativos al rendimiento del proceso y a la calidad del producto, ahí su papel es recopilar dichos datos, analizarlos a través de técnicas matemáticas apropiadas y extraer una información sintética para proporcionar una imagen detallada del estado actual del proceso; el análisis debe realizarse en tiempo real, para tomar decisiones para controlar el proceso con la rapidez necesaria (Menezes et al., 2017).

GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO ASISTIDA POR COMPUTADOR

Los recientes avances de la digitalización en la fabricación han estimulado las expectativas sobre futuros sistemas de fabricación que aumentan dramáticamente la necesidad asociada de una extraordinaria administración de mantenimiento. Para 2030, la planificación del mantenimiento no se verá impulsada por los requisitos de las máquinas individuales, sino por las necesidades de todo el sistema de fabricación. La planificación de mantenimiento con una perspectiva de sistemas apunta a mantener simultáneamente varios equipos (similares o diferentes) en un sistema de fabricación, para que los esfuerzos de mantenimiento optimicen el rendimiento de todo el sistema. Este principio de

planificación se manifiesta a través de la diferenciación y la priorización de las actividades de mantenimiento a la restricción actual del sistema de fabricación (es decir, cuello de botella). El valor de este principio es la capacidad de maximizar el efecto de los recursos de mantenimiento limitados; su principal desafío es desarrollar e implementar métodos y algoritmos en los sistemas de soporte de decisiones de mantenimiento.

Se espera que la transformación hacia la fabricación digitalizada dependa de herramientas predictivas; servicios y mejoras de diseño impulsados por datos; y diagnóstico remoto, predicciones y reparación. El campo del mantenimiento electrónico surgió de la aparición de las nuevas tecnologías de la información y la necesidad de integrar el mantenimiento con otras áreas de la empresa, y se ha centrado en gran medida en habilitar cuatro estrategias de mantenimiento impulsadas por la tecnología: remota, predictiva, en tiempo real y colaborativa. Hay siete temas que predominan y son altamente probables en su influencia dentro del entorno de mantenimiento: el análisis de datos; los sistemas de información interoperables; la gestión de grandes volúmenes de datos; el énfasis en la educación y la capacitación; la planificación de mantenimiento basada en hechos; los nuevos procedimientos de trabajo inteligente; y la planificación de mantenimiento con una perspectiva de sistemas (Bokrantz et al., 2017).

En este orden de ideas, los *Computerized Maintenance Management Systems* [CMMS] son una herramienta para respaldar la estrategia de mantenimiento basada en un sistema de información y un conjunto de funciones que procesan datos para producir indicadores que apoyen las actividades de mantenimiento. Generalmente el CMMS ha asignado un conjunto de funciones y aplicaciones, que incluyen: la gestión de activos, la gestión de órdenes de trabajo, la gestión de mantenimiento preventivo, el control de inventario y la gestión de informes. Estas funciones permiten una mejor eficiencia y eficacia para la función de mantenimiento al aprovechar las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones [TIC].

FABRICACIÓN ADITIVA

La AM [*Additive Manufacturing*] es un proceso de unión de materiales para hacer objetos a partir de datos de modelos 3D, generalmente capa sobre capa. AM es una tecnología en desarrollo que aunque se lanzó en los ochenta, solo en la última década se encuentra a la vanguardia en campos como la fabricación, la medicina y el arte. Las tecnologías de AM han pasado por tres fases evolutivas:

en la primera, los diseñadores de productos las emplearon solo para producir prototipos de nuevos diseños; en la segunda, se incluye su aplicación en la creación de piezas terminadas (fabricación digital directa); en la tercera se involucra a las impresoras 3D, que hoy son utilizadas por los consumidores finales.

Con productos rápidos, personalizados y de bajo costo, la impresión 3D [3DP, *3D Printing*] probablemente tendrá efectos considerables y de gran alcance en el mundo industrial. Algunas ventajas fundamentales de la AM son la personalización del producto de piezas complejas, la rotación de inventario mínima, la reducción del tiempo de comercialización, el menor desperdicio de materiales y la maximización de la flexibilidad. Las limitaciones actuales de AM incluyen: la lentitud en la construcción; las restricciones en el tamaño de los objetos; las restricciones en cuanto a resolución y detalles de los objetos; el alto costo del material; y las restricciones de fuerza de los objetos (Khorram & Nonino, 2017).

La tecnología AM puede potencialmente tener un efecto significativo en la configuración de la cadena de suministro de diversas industrias; su impacto podría ser complejo porque brinda la oportunidad de reducir el número de etapas en la cadena de suministro convencional. En este caso, no solo influye en las metodologías actuales, sino también en las partes constituyentes de la cadena de suministro. Varios estudios han prestado especial atención a la cadena de suministro de piezas de repuesto e investigado el uso de la tecnología de AM en ese contexto. La administración de la cadena de suministro de piezas de repuesto intenta reducir los costos operativos al tiempo que mantiene la satisfacción de los clientes en un nivel aceptable. Para lograr esto, los proveedores deben superar la imprevisibilidad de la demanda y tomar decisiones sobre la compensación entre el costo operativo, el nivel de inventario y el tiempo de entrega. Estos desafíos dificultan que los gerentes de la cadena de suministro de piezas de repuesto ofrezcan un alto nivel de servicio con un bajo costo, sin embargo, el desarrollo de la tecnología de AM ofrece el potencial para enfrentarlos (Li et al., 2017).

REALIDAD AUMENTADA

AR [*Augmented Reality*] es una tecnología que permite la superposición de datos generados por computadora registrados en 3D al mundo real, de manera interactiva y en tiempo real; representa una forma de realidad mixta y es

una combinación entre el entorno virtual, la realidad virtual y lo real; AR es diferente de la realidad virtual [VR, *Virtual Reality*], porque esta última sumerge a sus usuarios en un mundo digital y artificial completo, en cambio AR representa el primer paso hacia la virtualidad, pues al agregar elementos virtuales está más cerca del entorno real (Roxo & Brito, 2017).

La AR se viene generalizando en la vida diaria por su posibilidad de complementar directa o indirectamente el entorno del mundo real con entidades visualizadas acumuladas con hardware especial, software y accesorios. La definición de realidad aumentada se aplica a todas las actividades cuyo objetivo principal es aumentar el entorno del mundo real con información virtual que enriquezca los sentidos y las capacidades humanas. AR altera realmente el entorno real con imágenes virtuales. Se usa comúnmente en tiempo real con elementos ambientales (Cirulis & Ginter, 2013).

TECNOLOGÍAS DE ENERGÍA EFICIENTES

Para permanecer en el contexto de las fábricas e instalaciones, hay algo más que la simple necesidad de disponibilidad, confiabilidad, calidad y manejabilidad de la energía, lo que es impulsado por una mezcla de factores ambientales, desafíos de costos, regulaciones, etc., indicados en la atención para las capacidades de consumo de energía proactivas y la integración de fuentes alternativas de energía que nunca ha sido mayor y está a punto de aumentar. La sociedad moderna llegó a otra etapa de desarrollo, con el tiempo la energía se convirtió en una tecnología cada vez más digital que se puede administrar con sensores, mientras que se descentraliza con la incorporación de energía que proviene de una red solar fotovoltaica local o de sistemas de microred, donde los usuarios pueden tener más control y ser capaces de administrar su consumo.

La disponibilidad y confiabilidad de la energía no solo son importantes para edificios de energía críticos, procesos de fabricación y las demás operaciones de misión crítica en el ámbito de la I 4.0, sino que son una parte esencial de los pasos básicos para implementar la gestión de la energía en ella, comenzando por comprender los flujos de energía y el consumo sobre el cual es posible identificar qué consumos y qué consumidores son innecesarios o excesivos, para luego ir con indicadores adecuados y sistema de monitoreo en tiempo real, necesarios para crear un clima favorable para la aplicación de tácticas de mejora continua para hacer planes de acción gestionados con esta metodología (Medojevic et al., 2018)

ROBÓTICA COLABORATIVA Y EXOESQUELETOS

Según Vysocky & Novak (2016), pueden también denominarse robots cooperativos [*cobots, collaborative robots*] o asistentes robóticos. Un robot destinado a la cooperación con seres humanos no debe tener un diseño estrictamente diferente de los robots industriales estándar que cumplen con la norma de seguridad ISO 10218, pero debe estar equipado con otros componentes de seguridad. Los lugares de trabajo robóticos no están diseñados para sustituir completamente las tecnologías actuales; los asistentes robóticos amplían la cartera de aplicaciones robóticas en la industria y brindan varias ventajas cruciales en términos de competitividad, calidad, cantidad, rapidez, precisión y reducción de enfermedades ocupacionales.

INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y APRENDIZAJE AUTOMÁTICO

Dentro del campo del análisis de datos, el aprendizaje automático [ML, *Machine Learning*] es un método usado para diseñar modelos y algoritmos complejos útiles para realizar análisis predictivo. Estos modelos analíticos permiten cosechar decisiones y resultados confiables y repetibles, y descubrir información oculta a través del aprendizaje de relaciones históricas y tendencias en los datos. En el campo de la inteligencia artificial [*Artificial Intelligence, AI*], el ML es un área prominente que se utiliza para descubrir los patrones ocultos de conjuntos de datos complejos e inmensos, que posee la capacidad de autoaprendizaje.

Los sistemas habilitados por algoritmos de aprendizaje automático son altamente automatizados y se modifican a medida que continúan mejorando con el tiempo, con una intervención humana mínima, a medida que aprenden con más datos. Las técnicas de ML son extremadamente poderosas para hacer predicciones sobre grandes cantidades de datos. El modelo de ML primero adquiere el conocimiento a partir de los datos a los que está expuesto y luego aplica ese conocimiento para entregar predicciones sobre los datos que aún no se han visto (Patel, 2017).

CIBERSEGURIDAD

La seguridad cibernética puede definirse como la protección del propio ciberespacio, la información electrónica, las TIC que respaldan el ciberespacio y los usuarios del ciberespacio en su capacidad personal, social y nacional, incluido cualquiera de sus intereses, tangibles o intangibles, que sean vulnerables

a ataques originados en el ciberespacio. Algunos escenarios considerados como amenazas a la seguridad cibernética son: el acoso cibernético, la domótica, los medios digitales y el ciberterrorismo. La seguridad cibernética no es solo la protección del propio ciberespacio, sino también la protección de aquello que funciona en el ciberespacio y de cualquier activo que pueda alcanzarse a través del ciberespacio (Von Solms & Van Niekerk, 2013).

PLATAFORMAS COLABORATIVAS

Una red social profesional para empresas es una plataforma que combina las capacidades de crear y administrar un grupo, crear publicaciones, “apreciar” las publicaciones de alguien y publicar fotos, videos y comentarios. La red social de una empresa encaja perfectamente en el paradigma de un usuario común que está familiarizado con toda la información canalizada a través del uso de redes sociales. Para los usuarios de hoy, el uso de una red empresarial para la colaboración y comunicación grupal es natural e intuitivo, también sirve para otros fines, como brindar información y experiencias de aprendizaje (Michael, 2017).

ADMINISTRACIÓN DEL CICLO DE VIDA DEL PRODUCTO

La PLM [*Product Lifecycle Management*] tiene como objetivo respaldar todos los procesos de negocios que se llevan a cabo a lo largo del ciclo de vida del producto, por lo tanto, la arquitectura de las aplicaciones y el modelo de información del producto subyacente utilizados para este fin son herramientas que deben ayudar a las personas y empresas a ejecutar estos procesos de la manera más eficiente posible (Marchetta et al., 2011). PLM no solo proporciona gestión de procesos a lo largo de todo el ciclo de vida del producto, sino que también permite una colaboración efectiva entre los participantes de la red en la cadena de valor del producto, lo que lo distingue de otros sistemas de aplicaciones empresariales como los ERP y la gestión de la relación con el cliente [CRM, *Customer Relationship Management*] (Oh et al., 2015).

GEMELO DIGITAL

El gemelo digital es una representación digital integral de un producto individual, incluye las propiedades, condiciones y comportamiento del objeto de la vida real, a través de modelos y datos. Es un conjunto de modelos realistas que pueden simular su comportamiento real en el entorno desplegado, se

desarrolla junto con su gemelo físico y sigue siendo su contraparte virtual en todo el ciclo de vida del producto (Haag & Anderl, 2018).

DevOps

DevOps se ha definido como un enfoque organizativo destinado a crear empatía y colaboración multifuncional. Su objetivo es la reducción del tiempo entre el desarrollo y la operación del software sin afectar negativamente la calidad. IBM acuñó el término *collaborative DevOps* como el “diseño de procesos para coordinar equipos de desarrollo de software con operaciones de TI”. También se ha descrito como una infraestructura que se rige por los mismos procesos que gobiernan el desarrollo (Erich et al., 2017).

DevOps hace hincapié en la colaboración entre los equipos de desarrollo y operación a lo largo de todo el ciclo de vida del software, desde el diseño y desarrollo hasta la implementación y el soporte de producción; se compone de un conjunto de principios que dan como resultado un cambio más rápido del producto de software, acompañado de una mayor calidad; se enfoca en aspectos de desarrollo, garantía de calidad y operación de una aplicación empresarial (Gupta et al., 2017).

SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA

En la FIGURA 3 se ilustra el proceso actual de entrega domiciliaria de la compañía, en él intervienen tres actores: la empresa objeto de estudio, como productor; los distribuidores, como intermediarios; y el cliente final. El proceso inicia cuando la empresa reporta el inventario con que cuenta en sus centros de distribución al distribuidor y este hace visible en el punto de venta la disponibilidad de los productos de la marca que se encuentran en su exhibición. El cliente interviene cuando toma su decisión de compra de algún electrodoméstico de la marca. Esta venta es reportada por el distribuidor a la empresa para que dé comienzo al proceso de entrega, pasando antes por la confirmación de recibo por parte del cliente que se hace vía telefónica. El tiempo de entrega del producto depende de lo que la empresa acuerde con cada distribuidor, con base en la oferta de valor de este a los consumidores finales, salvo los casos en los que requieran su producto en un momento diferente, posterior a la promesa de entrega. El proceso finaliza cuando el cliente recibe su producto y dicha entrega es notificada por el operador logístico que está a cargo de esta tarea.

Adaptación a industria 4.0 del proceso de entrega domiciliar de una empresa distribuidora de electrodomésticos

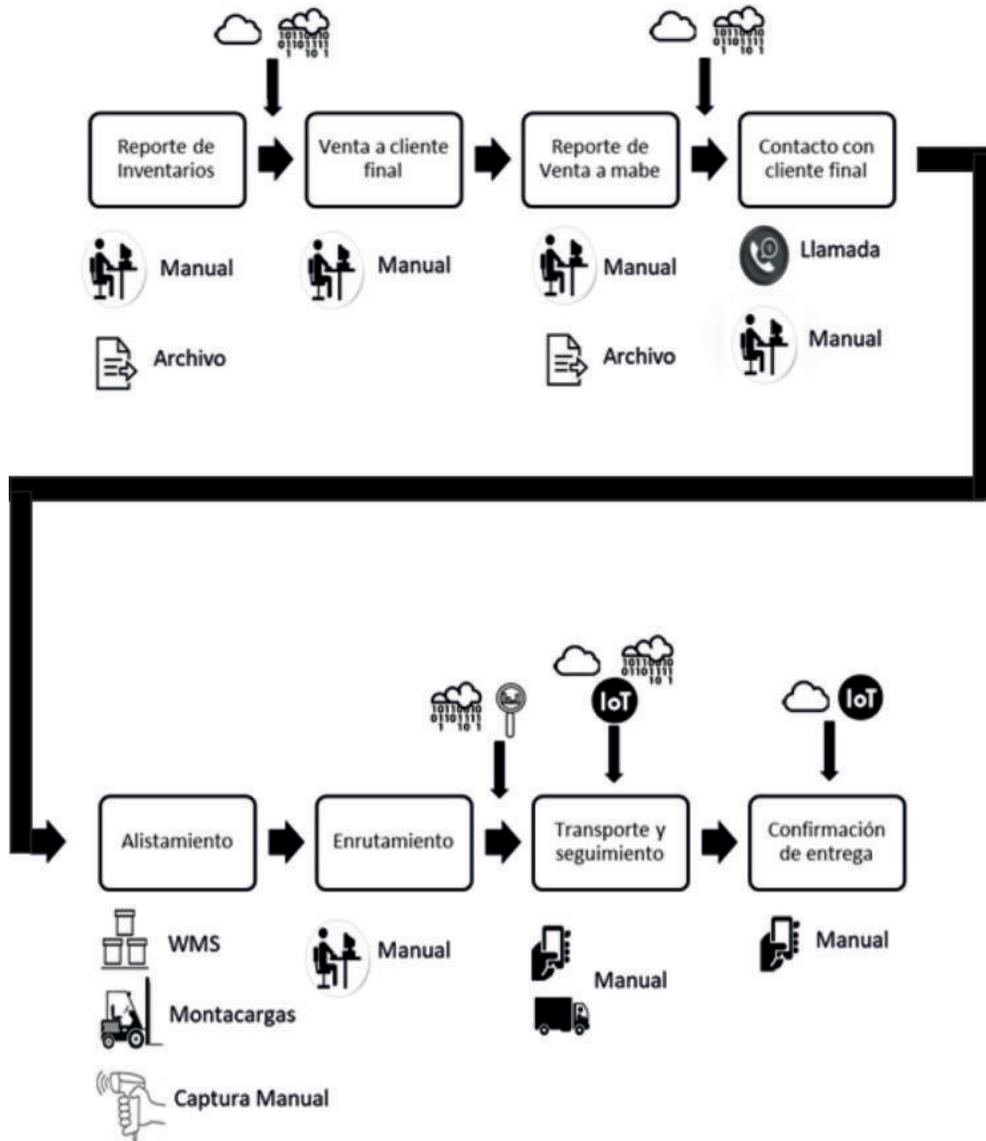


Figura 3. Proceso de distribución actual

En las estadísticas que se generan en el proceso de identificar las variables que producen el nivel incumplimiento actual (12 %), la mayor parte de ellas (11 %), se refiere a problemas de comunicación: 7 % sucede por no tener una comunicación efectiva con los clientes que permita coordinar de manera adecuada su entrega; 2,6 % porque la información suministrada por los clientes no es correcta; y 1,3 % porque al momento de realizar el despacho, el producto reportado como disponible, no lo estaba por problemas en la lectura o en el reporte de los inventarios. Las situaciones mencionadas se pueden reducir significativamente limitando la intervención humana mediante el uso de tecnologías y de la digitalización del proceso. La meta de la compañía es que el porcentaje de incumplimientos no supere el 5 % de los pedidos, lo que implica reducir en 6 puntos el nivel actual. Si bien el nivel actual no repercute en pérdida de ventas, sí genera una mala experiencia de compra a los clientes finales e impacta en términos económicos por el reenvío de unidades, a un costo que alcanza los dieciséis millones de pesos al mes.

La FIGURA 4 corresponde a un diagrama relacional en el que se exponen las causas principales por las que no se cuenta con un modelo de proceso de entregas domiciliarias que incluya elementos de la I 4.0 y las consecuencias de no tenerlo. Lo más probable es que haya un gran potencial sin explotar para mejorar la eficiencia operativa y la experiencia del cliente, indica Kubáč (2016), refiriéndose a la aplicación de nuevas tecnologías en los procesos logísticos.

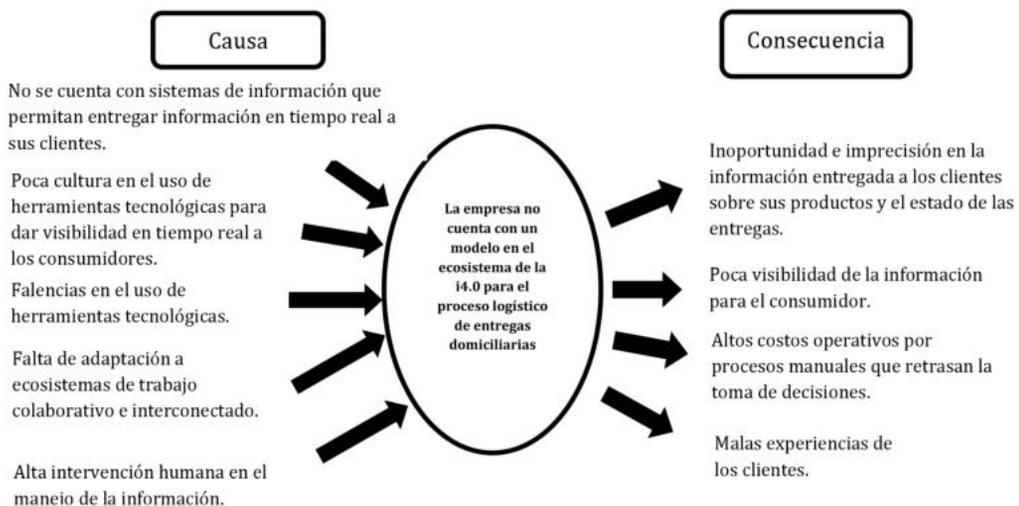


Figura 4. Diagrama relacional

Como se indicó, durante 2018 la empresa tuvo un nivel de cumplimiento promedio de 88 %. Ese indicador se calcula comparando la fecha en la que los clientes esperan tener su producto y la fecha real de entrega. De los problemas de comunicación citados como responsables de la mayor parte de los incumplimientos, cabe destacar que son efecto de cosas como: la construcción manual de los reportes de inventario en cada una de las instancias; errores en la captura y digitación de información del cliente y problemas en la comunicación con él –en algunos casos el despacho llega al domicilio y no hay quien pueda recibir el producto–.

El proceso logístico de entregas domiciliarias de los productos de la empresa, al ser análogo, solo tiene incorporadas en la actualidad tres de las tecnologías de la I 4.0 descritas, lo que se refleja en el rezago de la digitalización de la cadena de valor y en contar con procesos tecnológicamente integrados.

Una de las mayores oportunidades de mejora se da por la falta de interconexión entre los procesos y actores de la cadena, lo que implica una dependencia directa de la intervención humana y una alta vulnerabilidad a errores y retrasos en el proceso, lo que impacta directamente los tiempos de respuesta y la confiabilidad en el servicio que se brinda al consumidor final. Las falencias en la interconexión impactan también a la visibilidad de la información, un elemento clave en la toma de decisiones oportuna y en la integración de todos los actores de la cadena de valor.

El hecho de no tener procesos integrados mediante el uso de la tecnología también implica que en la operación no se tomen decisiones oportunas, ello genera retrasos en el servicio y malas experiencias para el consumidor final. Asimismo, no tener procesos en los que se logre la interconexión entre el mundo físico y el virtual ni la visibilidad oportuna de la información, imposibilita obtener los beneficios propios de una cadena de valor digitalizada. La falta de cooperación entre los actores de la cadena provoca una desarticulación de los procesos; a esto se suma que cada etapa del proceso de entregas domiciliarias se mira de manera independiente, por la falta de la conectividad entre las partes que permitiría una integración de toda la cadena de valor y proporcionaría una adecuada y oportuna visibilidad, desde y hacia todos los eslabones de la cadena, incluido el cliente final.

Todo lo anterior se enmarca en la imposibilidad de lograr una cognición dentro del proceso, la misma que podría facilitar la toma de decisiones y dar respuestas oportunas, pues en el proceso existe una dependencia alta de las

decisiones centralizadas y en algunos casos tardías frente a las expectativas que pueden tener los clientes. Es imperativo entonces, adoptar tecnologías de la I 4.0 como habilitadores para lograr un proceso logístico de entregas domiciliarias totalmente integrado, con información totalmente visible para todos los eslabones de la cadena, desde donde se puedan tomar decisiones descentralizadas basadas en la información que circula en torno a los procesos, que finalmente repercuta en un servicio oportuno, confiable, con un impacto positivo hacia consumidores finales y con un impacto económico positivo para la compañía.

PROPUESTA

Con el fin de identificar en qué parte del proceso de entregas domiciliarias de la empresa se propone aplicar cuál tecnologías de la I 4.0 se construyó la matriz que se presenta en la TABLA 1 y en la FIGURA 5. En ellas se asocia a cada una de las tecnologías descritas con cada una de las etapas del proceso. El criterio de selección fue la aplicabilidad de cada tecnología en concordancia con los principios de diseño de la I 4.0 descritos en el marco teórico y las características de digitalización de la logística que permitan corregir el problema planteado procurando una mejora en el nivel de servicio de entrega, asumiendo que ello – considerando las características y bondades de cada tecnología –, mejorará la experiencia de compra del consumidor final.

El mapa propuesto para la adaptación del proceso logístico de entregas domiciliarias de la empresa (FIGURA 6), incluye los tiempos que puede tomar la adaptación de cada una de las tecnologías dentro de las diferentes etapas del proceso, de acuerdo con su grado de complejidad. Ninguna de estas tecnologías es requisito para implementar otra, por lo que en su implementación se puede trabajar de manera simultánea. Se toma un panorama de doce meses para la implementación de todas las tecnologías propuestas y se establece el tiempo, expresado en meses para la adaptación de cada una. A continuación se presenta una descripción de la aplicación de cada herramienta en cada una de las etapas del proceso.

ETAPA I: REPORTE DE INVENTARIOS

- *Big data* y analítica. Con la información histórica de la demanda y su análisis, se busca mayor asertividad en la manera en la que se distribuyen

Adaptación a industria 4.0 del proceso de entrega domiciliaria de una empresa distribuidora de electrodomésticos

Tabla 1. Relación entre las tecnologías de la I 4.0 y el proceso de entregas domiciliarias

Tecnología	Etapas del proceso de entrega a domicilio							
	Inputs			Procesos				Outputs
	Reporte de inventarios	Venta al cliente final	Reporte de ventas a distribuidor	Contacto con cliente final	Alistamiento	Enrutamiento	Transporte y seguimiento	Confirmación de entrega
Analítica / Big data	■		■		■	■	■	
IoT		■		■				■
RFID/RTLS	■				■		■	■
AGV/ASRS					■		■	
HMI					■		■	
MES	■		■					
CMMS					■		■	
AM								■
VAR		■			■	■	■	■
Energía eficiente					■		■	
Cobots					■			
AI/ML	■		■	■		■	■	
Cloud computing	■		■		■			■
Ciberseguridad	■		■	■	■	■	■	■
Plataformas colaborativas	■	■		■				
DevOps	■	■						■
Gemelo digital							■	
CPS							■	■
IoS						■	■	
PLM		■						
Fábrica Inteligente	■	■						

y reportan los inventarios para la venta; asimismo, a través del análisis de datos se puede distribuir mejor el inventario, con base en el análisis y la distribución de la demanda según su comportamiento histórico y con la aplicación de algoritmos predictivos por SKU [Stock Keeping Unit] en los centros de consumo desde donde se realizan las entregas a los consumidores finales. Tener los inventarios adecuados en los centros de consumo reduce

tanto los tiempos de respuesta en la entrega a los consumidores finales como los costos de transporte, porque se evitan redistribuciones de inventario desde los centros –que se generan cuando lo abastecido no se consume completamente–, generando así un desbalance en la red logística desde la cual se atienden las ventas a todo el territorio nacional.

- **RFID.** Su uso permite identificar en tiempo real los SKU que se encuentran en las exhibiciones de los puntos de venta sobre los que se maneja el esquema VMI [Vendor Management Inventory], lo que permite detectar cuáles de los que están matriculados para un determinado punto, no cuentan con exhibición –lo que podría imposibilitar la venta, así se esté realizando un reporte de inventarios–. Adicionalmente, permite, con el uso de la analítica de datos: mayor claridad sobre la participación de la marca en los puntos de venta; saber si las exhibiciones en determinado punto son coherentes con la rotación de cada referencia; y tomar decisiones de eliminación de algunos SKU en algún punto de venta.
- **MES.** Su integración con los reportes de inventarios y el consumo permite que la planta productiva alinee sus recursos para poder hacer la reposición de acuerdo con el comportamiento de la demanda, en el tiempo indicado, lo que puede generar una reducción considerable de inventarios de producto terminado y mejoras en la productividad, como efecto de una mejor planificación de la producción.
- **Computación en la nube.** Su uso en la administración de los inventarios le permite a los puntos de venta apreciar en tiempo real los movimientos de los productos –su ingreso a los centros de distribución y las salidas por ventas–, lo que hace factible comprometer entregas en tiempos determinados, con base en la ubicación física del inventario –incluso si el producto no está en el centro de distribución por el que de manera natural se debe hacer la entrega–. Asimismo, al mostrar en tiempo real el efecto de los ingresos de planta a un centro de distribución o los movimientos entre ellos, permite apreciar cuándo un producto que minutos antes aparecía como no disponible, pasa a disponible para la venta.
- **Machine learning.** A través de su aplicación, la distribución física de los inventarios se puede efectuar con base en el consumo y en modelos predictivos que toman como base la historia; incluso se podría hacer una repartición por distribuidor y tienda según los patrones de consumo con base en algoritmos aplicados para calcular la distribución del inventario disponible en algún centro de distribución.

Adaptación a industria 4.0 del proceso de entrega domiciliaria de una empresa distribuidora de electrodomésticos

- **Ciberseguridad.** Los reportes de inventarios contienen información de la compañía que puede ser manipulada o alterada, por lo que el tomar las medidas de seguridad respectivas es un factor preponderante para evitar perder ventas o hacer compromisos con los clientes que no se vayan a poder cumplir.
- **Plataformas colaborativas.** El uso de plataformas donde se encuentren todas las áreas y roles involucradas dentro del proceso permite la comunicación directa y facilita que se puedan tomar acciones inmediatas ante una desviación en el proceso; con ello se mitiga el efecto de eventuales problemas de oportunidad en el reflejo de la información y se reducen los riesgos de incumplimiento de compromisos con los clientes y de pérdida de ventas de alguna referencia que por alguna razón no se esté reflejando en el inventario de un punto de venta o de la cadena.
- **DevOps.** El desarrollo de aplicaciones que posibiliten la visualización en tiempo real de los inventarios y de todo lo que pueda reflejar su dinamismo –entradas, salidas, tránsitos, ubicación, etc.–, ayuda a que en el momento de cerrar alguna venta o establecer un compromiso con un cliente se le pueda proporcionar información real que apoye su decisión de compra. Las aplicaciones que se desarrollen deben ser consecuente con el cumplimiento de las necesidades que vayan presentando los clientes en el día con día.
- **Fabrica inteligente.** La visualización en toda la cadena de valor –con la necesidad de un cliente como activador–, permite que se genere una necesidad “aguas arriba”, desde la proveeduría de materias primas hasta la puesta de un producto en distribución para su entrega. Una fábrica inteligente posibilita cubrir una necesidad en el menor tiempo posible y optimiza los inventarios dentro de la cadena de suministro, pues con definir un tiempo de respuesta –el menor posible–, al momento de una venta la necesidad es vista y atendida por cada eslabón de la cadena, sin necesidad de contar con inventarios permanentemente disponibles para cubrirla y sin mayor intervención humana. Esto depende de la flexibilidad y capacidad de reacción de una planta de producción y sus proveedores.

ETAPA 2: VENTA A CLIENTE FINAL

- **IoT.** A través del uso de dispositivos conectados –celulares, tabletas, etc.–, los promotores de ventas pueden dar información más apropiada a los

clientes en relación con los productos que tienen como opción de compra, mostrando información útil para apoyar su decisión. Al momento de cerrar una venta, pueden además capturar la información de entrega y agendarla, incluyendo las condiciones de recibo, lo que facilita la logística de la entrega. El propósito es que toda la información de compra pueda viajar en línea a los centros de distribución para que estos puedan anticipar el alistamiento de los productos y acortar así los tiempos de respuesta.

- Realidad aumentada. Usando dispositivos móviles, como celulares o tabletas con aplicaciones apropiadas, los clientes pueden anticipar cómo se verían sus opciones de compra en el lugar donde las pretenden ubicar. Con la simulación del espacio (medidas, muebles, etc.) podrían visualizar cómo se vería el producto en el sitio previsto y verificar si sus dimensiones son adecuadas para el espacio donde se desea ubicar. Esto fortalece el nivel convencimiento al momento de decidir qué producto comprar y disminuye las devoluciones derivadas de problemas con las dimensiones del producto. Con ello, no solo se reducen gastos a la compañía sino que mejora la experiencia de compra del cliente.
- Plataformas colaborativas. Al momento de realizar una venta en el punto pueden surgir dudas sobre especificaciones del producto, funcionalidades, cobertura de entrega –en sitios específicos o bajo condiciones especiales–, tiempos de entrega o de disponibilidad –si el producto no está disponible–; estas dudas muchas veces van “de un lado a otro” sin resolverse, con lo que se pierden cierres de ventas. Estas situaciones podrían resolverse con el uso de plataformas colaborativas donde se colocaría este tipo de dudas para obtener respuesta por parte de expertos en el proceso o por pares con experiencia en el manejo de inquietudes similares.
- DevOps. Con un mayor conocimiento de los factores que intervienen en la decisión de compra de un cliente, que se dan directamente en los puntos de venta, se pueden desarrollar aplicaciones que apoyen la labor comercial y faciliten las decisiones de compra.
- PLM. Con la gestión del ciclo de vida de los productos es posible tener productos que cumplan con las tendencias del mercado, algo que facilitaría el cierre de una venta, según el punto de compra y el mercado objetivo que este cubra, pues no todos los productos son para todos los públicos.
- Fabrica inteligente. Permite tener mayor flexibilidad y menores tiempos de respuesta ante las necesidades de los clientes, incluso poder entregar

productos personalizados, situación que se identifica directamente cuando un cliente se acerca a un punto a decidir qué producto llevar. Al momento de la venta, se toma la información de las preferencias del cliente, la que debe ir directamente a la planta de producción como una orden de producción que debe ser atendida en el menor tiempo posible.

ETAPA 3. REPORTE DE VENTAS A LA EMPRESA

- *Big data* y analítica. El análisis de los datos de los clientes generados en los puntos de venta –SKU que compran, puntos de entrega, preferencias en el servicio de entrega, etc.–, permiten identificar patrones de consumo por segmento de mercado, estrato socioeconómico y región, entre otras variables, que pueden aportar en las mediciones de comportamiento de la demanda.

Esta información es útil para proyectar los volúmenes de venta por SKU con el fin de hacer una mejor planificación “aguas arriba” de la cadena de suministro, desde la misma planeación de inventarios hasta las materias primas requeridas para cubrir la demanda futura. Además, permite tener una distribución más asertiva de los inventarios, lo que repercute en menores costos de administración y traslados; posibilita una mayor proximidad a los clientes; y facilita el cumplimiento –incluso la mejora– de las promesas de entrega.

- MES. Con la integración de la información de las ventas en este sistema, se puede planificar el proceso productivo de una manera más asertiva, sin descuidar la atención de la demanda para modelos que estén generando mayor rotación, incluso para los que no, pues tener información directa del mercado permite balancear la producción de tal forma que se puedan cubrir todas las necesidades que se estén presentando.
- GMAO/CMMS. Con la inclusión de la información de la demanda, esta gestión del mantenimiento puede desarrollarse sin comprometer el suministro o la atención de las ventas, ya que las necesidades del mercado son una de las variables o restricciones que se deben considerar, de tal forma que sean un condicional en la calendarización de los mantenimientos de las líneas de producción.
- Ciberseguridad. Se necesitan herramientas que resguarden la información de los clientes y de las ventas de la empresa. Ella debe estar protegida contra su hurto y utilización para otros fines, pues los datos personales de

los clientes podrían ser utilizados para actos delincuenciales. Por tratarse de información detallada de las ventas de la empresa, es susceptible de ser usada para fines de inteligencia comercial por compañías de la competencia o ser manipulada e impactar la entrega al consumidor final.

- *Machine learning*. Censar la demanda permite, a través del uso de algoritmos matemáticos, llegar a información prescriptiva de las ventas alineada con fechas, calendarios comerciales de los clientes y días específicos de mayor estacionalidad, y así planificar mejor tanto el proceso logístico de entrega como los inventarios. Es útil incluso para reaccionar ante alguna desviación fuerte en la demanda, de tal manera que no se vean afectados los tiempos de respuesta comprometidos para las entregas.
- Computación en la nube. Integrar en la nube la información de las ventas en tiempo real implica que toda la cadena de suministro puede identificar cuáles son las necesidades del mercado, qué está demandando el cliente, y así mismo activar los planes para cubrir dicha demanda.

ETAPA 4: CONTACTO CON EL CLIENTE

- IoT. El contacto con el cliente se realiza mediante teléfonos inteligentes, usando aplicaciones –desarrolladas internamente para las entregas o de uso público–, lo que permite una interacción directa empresa-consumidor, la cual facilita: concertar la entrega del producto; confirmar la información de despacho suministrada inicialmente; y conocer de primera mano las condiciones para el recibo. Este segundo contacto, además de asegurar que la información registrada es correcta y que el cliente está en disposición de recibir el producto en una fecha determinada, brinda mayor visibilidad y confianza al consumidor, pues está conociendo de primera mano la gestión que se está realizando después de haber adquirido el producto.
- *Machine learning*. La integración de máquinas en el proceso de confirmación permite la interacción directa entre el consumidor y la marca y la solución de las inquietudes que surjan en torno a la planificación de las entregas. Esta información se suministra en tiempo real, sin intervención humana, a través de contestadoras o *chatbots* preparados con base en la información de registro del cliente (confirmada por él) y en las consultas recurrentes de los usuarios. Este mecanismo no solo es útil para responder dudas, sino que además facilita recibir, registrar e integrar nuevas indicaciones para las entregas.

- Ciberseguridad. Tal como en los procesos anteriores, la seguridad de la información que suministran los clientes debe ser resguardada y protegida, para evitar que sea usada para fraudes o para el robo del producto que va a ser entregado.
- Plataformas colaborativas. Su uso permite brindar información más asertiva a un cliente frente a los procesos que se realizan previo a la entrega de su producto o resolver dudas que surjan acerca del proceso o sobre el producto y su funcionamiento.

ETAPA 5: ALISTAMIENTO

- *Big data* y analítica. El análisis de la información permite que, tras la identificación de los productos de mayor demanda o de las predicciones sobre ella, se distribuyan de manera óptima los inventarios físicos dentro de un almacén, de tal manera que se mejoren los tiempos de alistamiento –incluso se anticipe esta etapa–, para acortar los tiempos de despacho.
- RFID. Tener los productos que entran al almacén con estas etiquetas permite conocer su ubicación en él, reduce los tiempos de alistamiento y aporta confiabilidad a los inventarios, porque tanto con las entradas como con las salidas del almacén, se actualizan de manera automática. Con su inclusión, se elimina la necesidad de capturar la información de cada unidad, pues ella viaja de manera automática tras la captura de la información directamente de las etiquetas.
- VGA. Su uso para el alistamiento de los productos dentro del almacén permite mayor agilidad y precisión en los movimientos, elimina el riesgo de averías y optimiza los tiempos de operación al eliminar las limitaciones en horarios –al ser máquinas las que están a cargo de la operación, los límites de los horarios pierden sentido–.
- HMI. El alistamiento por voz libera las manos de los operarios, quienes usando audífonos pueden identificar las tareas a realizar y enviar comandos que direccionen sus tareas. Tiene el potencial de acortar los tiempos de la operación y de optimizar las tareas que desarrollan dentro del almacén, más aún cuando se trata de productos de gran volumen, que demandan movimientos con carretas para los que se requiere el uso de ambas manos.
- GMAO/CMMS. Este tipo de gestión de mantenimiento evita el riesgo de que las operaciones de almacén se vean afectadas por el daño de algún equipo en el que se movilice un producto, asimismo, ayuda para que la

programación de los mantenimientos no impacte la operación y se realice en momentos que no sean críticos.

- Realidad aumentada. A través de estas aplicaciones, dentro de un almacén se pueden simular ocupaciones, un tema crítico para la empresa, considerando que sus productos son de gran tamaño; asimismo, pueden ayudar con el entrenamiento del personal para la manipulación de los productos, y mitigar así el riesgo de averías que se pueden presentar por inexperiencia en el manejo de un producto.
- Cobots. Su colaboración en el alistamiento de mercancía puede eliminar los riesgos a los que se expone el personal del almacén. Dado que el almacenamiento de los productos de la empresa se da en altura, siempre existe un alto riesgo de caída –bien sea de los productos, desde los estantes al suelo, o del personal que los manipula–. El uso de brazos robóticos para llevar el producto desde el arrume hasta piso no solo puede mitigar este riesgo, sino que además, por su precisión, reduce el riesgo de daños por manipulación de los productos.
- Eficiencia energética. El uso de equipos de combustibles no renovables puede ser reemplazado por equipos eléctricos o con fuentes de energía sustitutas, como el etanol, lo que se traduce en un aporte a la preservación del medio ambiente. Adicionalmente, la iluminación puede ser reemplazada por lámparas LED, que tienen menor consumo y mayor durabilidad. Se puede mejorar también la iluminación usando tejas traslucidas, de tal manera que en el día se pueda prescindir de energía eléctrica para iluminar el almacén.
- Ciberseguridad. En este proceso la seguridad de la información también tiene un espacio importante, la fuga de información de los productos que se alistan para cubrir determinada ruta debe ser manejada de manera muy reservada para evitar fraudes en el momento de la entrega, se debe asegurar que la información de los puntos de entrega para los cuales va cada unidad no sea conocida por el personal a cargo del alistamiento, pues cualquier fuga de información es susceptible de ser utilizada para hurtos.

ETAPA 6: ENRUTAMIENTO

- *Big data* y analítica. Los datos de ubicaciones específicas deben ser tratados con un análisis adecuado, partiendo de su depuración, pues en ocasiones la información suministrada por los clientes acerca del lugar en el que

recibirán su producto no es lo suficientemente clara o trae errores que pueden generar incumplimientos o extra costos por reenvío. A través de la analítica de datos se puede hacer una repartición adecuada de cada pedido en las diferentes rutas de entrega y optimizar así la capacidad al servicio de las entregas, de tal manera que se pueda entregar dentro de los tiempos definidos y al menor costo posible.

- Realidad aumentada. Puede ser utilizada en el cubicaje de los vehículos, pues la optimización de los recursos disponibles para las entregas es parte de ese proceso logístico.
- *Machine learning*. A través de sistemas que utilizan algoritmos matemáticos se pueden calcular rutas optimas, las que cruzadas con el número de unidades a entregar, permiten una distribución adecuada de los pedidos por entregar en los domicilios de los clientes y evitan el riesgo de incumplimiento de las entregas.
- Ciberseguridad. En el enrutamiento, para evitar fuga de información o que se ponga en riesgo el cumplimiento de las entregas, en el aplicativo que marca la ruta al conductor solo debe aparecer el siguiente punto de entrega, evitando así desvíos o que la información de los domicilios por visitar caiga en manos de personas inescrupulosas.
- IoS. Las aplicaciones de ruteo que se pagan por mensualidad pueden ser utilizadas para armar las rutas con base en los parámetros que la empresa defina dentro de sus proceso, como pueden ser: el tiempo destinado para cada entrega, el número de puntos a visitar y el tipo de vehículos a utilizar. Su uso ayuda a que las entregas se hagan dentro de los tiempos previstos y en las condiciones establecidas dentro de la oferta de valor de la empresa.

ETAPA 7: TRANSPORTE Y SEGUIMIENTO

- *Big Data* y analítica. Mediante el análisis de la información sobre rutas, puntos y horarios de entrega, entre otros, se pueden tomar decisiones de índole operativo orientadas que hagan más eficiente el servicio en cuanto a la distribución de los recursos y la optimización de los tiempos de ruta.
- IoS. En las temporadas “pico” de la operación, cuando no es posible cubrir la totalidad de las entregas con los recursos fijos, se pueden utilizar aplicaciones para la consecución de transporte sobre oferta. Esto podría impactar positivamente en el servicio de entrega y ayudar a tener una operación más flexible, sin incurrir en sobrecostos altos.

- IoT. El uso de dispositivos móviles durante la ruta le permite a los conductores y sus ayudantes estar orientados sobre las entregas que deben realizar, siguiendo una secuencia lógica, considerando aspectos como la disponibilidad de recibo por parte de los clientes y las rutas óptimas. Incluso, podrían llegar a conocer, directamente del cliente, el cambio en la condición de recibo de un producto que ya está en tránsito.
- RFID. Con el uso de estas etiquetas se puede tener la ubicación exacta de los productos que se encuentran en ruta y conocer en qué momento y ubicación se bajan del vehículo para ser entregados. Esto ayuda a determinar si el producto se está bajando en el punto para el cuál va dirigido y activar alertas si no es el caso.
- AGV. A largo plazo su implementación ayuda a reducir los costos de transporte, iniciando con aquellos correspondientes al costo de los transportistas.
- Computación en la nube. Todas las novedades de una ruta de entrega deben ser llevadas a una nube donde clientes, distribuidores y operadores logísticos puedan tomar información que les permita rastrear la entrega, en el caso de clientes y distribuidores, o tomar decisiones en tiempo real, en el caso de los operadores logísticos.
- GMAO/CMMS. Este modelo de gestión, al ser aplicado al parque automotor, reduce el riesgo de afectar las operaciones de transporte por el daño del vehículo en el que se moviliza o se prevé movilizar un producto. Asimismo, permite que la programación de los mantenimientos se dé de manera regular, sin impactar la operación en momentos críticos para las entregas.
- Realidad aumentada. Mediante su uso al realizar una entrega, el personal encargado podrá simular si las dimensiones del producto se ajustan a las condiciones de espacio del sitio, y así evitar riesgos de avería del producto al ser llevado al punto de instalación y pérdidas de tiempo en su traslado y en el desembalaje de productos que por sus dimensiones no se pueden ubicar en el punto previsto.
- *Machine learning*. El uso de aplicaciones de georreferenciación y la definición de rutas basadas en las condiciones de las vías ayuda a optimizar las rutas y con ello a reducir significativamente las distancias y tiempos. Esto se logra a través de los algoritmos matemáticos aplicados a este fin sobre los cuales una computadora predice tiempos y sugiere rutas óptimas.

Adaptación a industria 4.0 del proceso de entrega domiciliaria de una empresa distribuidora de electrodomésticos

- Eficiencia energética. El uso de equipos de combustibles no renovables puede ser reemplazado por equipos eléctricos o con fuentes de energía sustitutas –como el etanol–, lo que se traduce en un aporte a la preservación del medio ambiente. Asimismo, la optimización de las rutas reduce las movilizaciones y con ello el gasto de combustible y la emisión de partículas contaminantes al medio ambiente.
- Ciberseguridad. Tener almacenada de forma segura la información de las rutas y lo que ocurre en el transcurso de ellas le evita riesgos al producto. La información que se maneja para el rastreo de las entregas debe estar debidamente protegida para garantizar su confiabilidad y oportunidad, que no sufra alteraciones o se pierda y con ello imposibilite entregarle información confiable a los clientes.
- Plataformas colaborativas. Mediante su uso, los conductores podrán orientar sus recorridos e identificar puntos críticos, embotellamientos y demás circunstancias que impliquen pérdidas de tiempo o incumplimientos en las entregas, y así optimizar los tiempos de entrega.
- CPS. Su adaptación a través de dispositivos de GPS en los vehículos permite su geolocalización en ruta, lo que aporta a la optimización de los tiempos y las distancias de recorrido durante las entregas.
- Gemelos digitales. Tener un replica del ciclo de vida de los vehículos permite identificar de manera oportuna fallas que puedan poner en riesgo, en términos de seguridad y cumplimiento, la operación de entregas y a quienes intervienen en ellas.
- HMI. A través de ellas, los transportadores podrán recibir comandos en tiempo real sobre el estado de la ruta e interactuar con el sistema –recibir sus indicaciones y mostrar cómo se van atendiendo–. Esta interacción hace posible un mejor rendimiento y rutas óptimas.

ETAPA 8: CONFIRMACIÓN DE ENTREGA

- IoT. A través de dispositivos móviles, los conductores podrán confirmar en línea cada entrega e incluir evidencias tales como imágenes y firmas digitales y comentarios de los clientes; incluso podrían hacer una encuesta sobre el nivel servicio “en caliente”, con el fin de tomar oportunamente correctivos que mejoren la experiencia del consumidor.
- RFID. El uso de estas etiquetas en los productos que se entregan permite la trazabilidad sobre cada unidad, verificar si el producto fue entregado en

el sitio correcto y si fue entregada la referencia correcta del producto. Con esto, además de asegurar el nivel de servicio, se mitiga el riesgo de hurto que se podría presentar por una entrega en un punto diferente al previsto.

- **Computación en la nube.** Tener la información de las entregas en la nube hace posible que ella sea visible para todos los interesados en ella. Cada uno puede entonces verificar la corrección en la entrega y realizar los análisis que considere pertinentes. En el caso de la empresa, por ejemplo, el análisis de la información que corresponde a la operación de entrega puede brindarle elementos que le faciliten optimizar el proceso.
- **Manufactura aditiva.** El uso de impresoras 3D permite cubrir rápidamente la necesidad de algún repuesto que no haya llegado con el producto y que se haya identificado en el momento de la entrega; además, tiene un efecto positivo en los inventarios de partes, pues mientras más rápida pueda ser la reposición de un repuesto, menos inventarios se deben mantener (y menos recursos invertir en ellos).
- **Realidad aumentada.** Es útil para instruir al cliente en el ensamblaje correcto de piezas que lo requieran.
- **Ciberseguridad.** Considerando que este es el punto final del proceso, que es cuando el cliente completa la compra, debe existir redundancia en el manejo y transmisión de la información relacionada con la entrega, con un esquema de seguridad en la información y herramientas de comunicación adecuadas.
- **Plataformas colaborativas.** Su uso hace posible que las diversas partes del proceso puedan tener información y colaborar entre ellas ante cualquier eventualidad en el recibo o ante cualquier necesidad de información o caso crítico. Además, es valioso que ante un acontecimiento que este fuera del protocolo de entregas, todas las partes estén enteradas de la solución que se brindó. Esta información no solo permite documentar el manejo de situaciones similares que se presenten en el futuro sino que también es herramienta para el momento de cerrar alguna venta.
- **DevOps.** Poder identificar las necesidades de los clientes en el servicio de entrega posibilita el desarrollo de herramientas para brindar un servicio diferenciado.
- **CPS.** A través de la interacción entre las etiquetas RFID y el dispositivo de geolocalización de los vehículos se puede confirmar automáticamente a una central de monitoreo de entregas qué producto fue entregado.

Este dato, más el conocimiento de la distancia con el siguiente punto de entrega, facilita anticipar con mayor precisión el momento de entrega de la siguiente unidad y brindarle esa información al cliente.

CONCLUSIONES

El trabajo realizado permite concluir que las tecnologías de la I 4.0 pueden ser adaptadas al proceso de entrega domiciliaria de la empresa, y que hacerlo: mejora el servicio que se ofrece a los consumidores, proporciona mayor visibilidad, mejora la experiencia de compra e impacta positivamente los niveles de servicio de la compañía, sin afectar la reputación de su marca.

Cabe mencionar que dentro de la investigación preliminar realizada no se encontraron estudios en donde se apliquen las tecnologías de la I 4.0 en procesos similares, por lo que se debería considerar valorar si los resultados que se presentan en este documento pueden ser, con sus ajustes, homologables al proceso logístico de entregas domiciliarias, en general.

La conectividad y visibilidad dentro de todas las etapas de la cadena de valor son factores necesarios para su digitalización y se deben convertir en un propósito para todas las compañías que quieran seguir siendo competitivas dentro de la industria 4.0, en donde el factor preponderante es el uso de diversas tecnologías como habilitadoras para el cumplimiento de las exigencias de los clientes, quienes cada vez quieren tener mayor claridad y asertividad en la manera de atender sus necesidades y hacer su vida más fácil.

Una parte importante de este enfoque es que se trabaja de manera colaborativa con todos los actores de la cadena, incluido el consumidor final, pero con mayor fuerza con quienes deben satisfacer sus necesidades. Tecnologías como las mencionadas en este trabajo facilitan el trabajo colaborativo y permiten una toma de decisiones más ágil y más productiva dentro de los procesos, lo que a su vez aporta a la mejora de la experiencia de compra de los clientes y a la optimización de los recursos usados para atender sus necesidades, y genera valor para las compañías. Por lo tanto, independiente del mercado en el que se desenvuelvan y de su tamaño, las compañías deberían ir desarrollando e implementando procesos apalancados en las diversas tecnologías que conforman la industria 4.0, con la mira en cómo poder llegar de una manera más directa y simple a los consumidores.

Es pertinente que a futuro se haga una investigación y análisis cuantitativos sobre los impactos –en tiempo y financieros–, que puede generar la implementación de cada una de las tecnologías de la industria 4.0 en las diferentes industrias y procesos, pues si bien en algunas partes de este trabajo esto fue mencionado, por el enfoque del proyecto de investigación, no se incluyó.

REFERENCIAS

- Atobishi, T., Gábor, S. Z., & Podruzsik, S. (2018). *Cloud computing and big data in the context of industry 4.0: opportunities and challenges* (No. 7508667). International Institute of Social and Economic Sciences.
- Barreto, L., Amaral, A., & Pereira, T. (2017). Industry 4.0 implications in logistics: an overview. *Procedia Manufacturing*, 13, 1245–1252.
- Bokrantz, J., Skoogh, A., Berlin, C., & Stahre, J. (2017). Maintenance in digitalised manufacturing: Delphi-based scenarios for 2030. *International Journal of Production Economics*, 191, 154–169.
- Bonaglia, F., Goldstein, A., & Mathews, J. A. (2007). Accelerated internationalization by emerging markets' multinationals: the case of the white goods sector. *Journal of World Business*, 42(4), 369–383.
- Chen, B., Wan, J., Shu, L., Li, P., Mukherjee, M., & Yin, B. (2018). Smart factory of industry 4.0: key technologies, application case and challenges. *IEEE Access*, 6, 6505–6519.
- Chen, H., Chiang, R. H., & Storey, V. C. (2012). Business intelligence and analytics: from big data to big impact. *MIS Quarterly*, 36(4), 1165–1188.
- Cirulis, A., & Ginters, E. (2013). Augmented reality in logistics. *Procedia Computer Science*, 26, 14–20.
- Erich, F. M. A., Amrit, C., & Daneva, M. (2017). A qualitative study of DevOps usage in practice. *Journal of Software: Evolution and Process*, 29(6), e1885.
- Gupta, S., & Jones, E. (2014). Optimizing supply chain distribution using cloud based autonomous information. *International Journal of Supply Chain Management*, 3(4), 79–90.
- Gupta, V., Kapur, P. K., & Kumar, D. (2017). Modeling and measuring attributes influencing DevOps implementation in an enterprise using structural equation modeling. *Information and Software Technology*, 92, 75–91.
- Haag, S., & Anderl, R. (2018). Digital twin—proof of concept. *Manufacturing Letters*, 15, 64–66.
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016). Design principles for industrie 4.0 scenarios. En *System Sciences (HICSS), 2016 49th Hawaii Intl. Conference on* (pp. 3928–3937). IEEE.
- Hofmann, E., & Rüsçh, M. (2017). Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Computers in Industry*, 89, 23–34.

- International Standardization Organization [ISO]. (2011). *Robots and robotic devices — Safety requirements for industrial robots — Part 1: Robots (ISO 10218-1)*. <https://www.iso.org/standard/51330.html>
- Jaiganesh, V., Kumar, J. D., & Girijadevi, J. (2014). Automated guided vehicle with robotic logistics system. *Procedia Engineering*, 97, 2011–2021.
- Kayikci, Y. (2018). Sustainability impact of digitization in logistics. *Procedia Manufacturing*, 21, 782–789.
- Khorram, N. M. & Nonino, F. (2017). Additive manufacturing management: a review and future research agenda. *International Journal of Production Research*, 55(5), 1419–1439.
- Koch, V., Kuge, S., Geissbauer, R., & Schrauf, S. (2014). *Industry 4.0: opportunities and challenges of the industrial*. <https://www.pwc.nl/en/assets/documents/pwc-industrie-4-0.pdf>
- Kubáč, L. (2016). *Internet of things and his application in logistic*. <https://vslg.cz/wp-content/uploads/2018/06/4-kubac.pdf>
- Li, Y., Jia, G., Cheng, Y., & Hu, Y. (2017). Additive manufacturing technology in spare parts supply chain: a comparative study. *International Journal of Production Research*, 55(5), 1498–1515.
- Liukkonen, M. (2015). RFID technology in manufacturing and supply chain. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 28(8), 861–880.
- Marchetta, M. G., Mayer, F., & Forradellas, R. Q. (2011). A reference framework following a proactive approach for Product Lifecycle Management. *Computers in Industry*, 62(7), 672–683.
- Medojevic, M., Diaz, P., Cosic, I., Rikalovic, A., Sremcevic, N., & Lazarevic, M. (2018). Energy management in industry 4.0 ecosystem: a review on possibilities and concerns. En B. Katalinic (Ed.), *Proceedings of the 29th DAAAM International Symposium* (pp. 0674–0680). doi: <http://doi.org/0.2507/29th.daaam.proceedings.097>
- Mehami, J., Nawari, M., & Zhong, R. Y. (2018). Smart automated guided vehicles for manufacturing in the context of Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 26, 1077–1086.
- Menezes, S., Creado, S., & Zhong, R. Y. (2017). Smart manufacturing execution systems for small and medium-sized enterprises, *Procedia CIRP*, 72, 1009–1014.
- Michael, S. (2017). Managing the flow of information on an enterprise social network. *Bulletin of the South Ural State University*, 7(17), 64–74.
- Oh, J., Lee, S., & Yang, J. (2015). A collaboration model for new product development through the integration of PLM and SCM in the electronics industry. *Computers in Industry*, 73, 82–92.
- Patel, S. (2017). Integrating machine learning techniques for big data analytics. *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, 8(5), 2760–2763.
- Patel, S. C., Bhatt, G. D., & Graham, J. H. (2009). Improving the cyber security of SCADA communication networks. *Communications of the ACM*, 52(7), 139–142.

- Radziwon, A., Bilberg, A., Bogers, M., & Madsen, E. S. (2014). The smart factory: exploring adaptive and flexible manufacturing solutions. *Procedia Engineering*, 69, 1184–1190.
- Ren, L., Ye, M., Alsallakh, B., & Yan, Z. (2017). Recent advances in HMI for automotive aftermarket applications. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 48(1), 366–369.
- Rezai, A., Keshavarzi, P., & Moravej, Z. (2017). Key management issue in SCADA networks: A review. *Engineering Science and Technology*, 20(1), 354–363.
- Romero, D., Stahre, J., Wuest, T., Noran, O., Bernus, P., Fast-Berglund, Å., & Gorecky, D. (2016). Towards an operator 4.0 typology: a human-centric perspective on the fourth industrial revolution technologies. En *International Conference on Computers and Industrial Engineering (CIE46) Proceedings* (pp. 20–31).
- Roxo, M. T., & Brito, P. Q. (2017, April). The evolution of Azuma's augmented reality—an overview of 20 years of research. En *World Conference on Information Systems and Technologies* (pp. 259–266). Springer.
- Santos, M. Oliveira, J., Andrade, C., Vale, F., Costa, E., Costa, C., Costa, B., & Galvão, J. (2017). A big data system supporting boschbraga industry 4.0 strategy. *International Journal of Information Management*, 37(6), 750–760.
- Shafiq, S. I., Sanin, C., Szczerbicki, E., & Toro, C. (2015). Virtual engineering object/virtual engineering process: a specialized form of cyber physical system for industrie 4.0. *Procedia Computer Science*, 60, 1146–1155.
- Sung, T. K. (2017). Industry 4.0: a Korea perspective. *Technological Forecasting and Social Change*, 142, 40–45.
- Tjahjono, B., Esplugues, C., Ares, E., & Pelaez, G. (2017). What does industry 4.0 mean to supply chain? *Procedia Manufacturing*, 13, 1175–1182.
- Von Solms, R., & Van Niekerk, J. (2013). From information security to cyber security. *Computers & Security*, 38, 97–102.
- Vysocky, A., & Novak, P. (2016). Human-Robot collaboration in industry. *MM Science Journal*, 9(2), 903–906.
- Witkowski, K. (2017). Internet of things, big data, industry 4.0—innovative solutions in logistics and supply chains management. *Procedia Engineering*, 182, 763–769.
- Yu, Y., Wang, X., Zhong, R. Y., & Huang, G. Q. (2017). E-commerce logistics in supply chain management: implementations and future perspective in furniture industry. *Industrial Management & Data Systems*, 117(10), 2263–2286.
- Zhang, N. (2018). Smart logistics path for cyber-physical systems with Internet of things. *IEEE Access*, 6, 70808–70819.

PROPUESTA PARA LA GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO EN LOS PROCESOS DE GESTIÓN HUMANA DE UN CENTRO DE INVESTIGACIÓN

Vanessa Montero Méndez, MSc

Andres López Astudillo, Ph.D

Citación

Montero, V. & López-Astudillo, A. (2021). Propuesta para la gestión del conocimiento en los procesos de gestión humana de un centro de investigación. En *Bitácoras de la maestría: vol. 8. Industria 4.0 - Gestión del conocimiento* (pp. 141-188). Universidad Icesi.

RESUMEN

Los centros de investigación son organizaciones dedicadas a generar, usar y difundir conocimiento muy especializado, mediante el trabajo de personas (primordialmente investigadores, laboratoristas y técnicos), que se vinculan a ellos durante la ejecución de proyectos de investigación que cuentan con un periodo y un financiamiento específicos. Esta modalidad implica la casi imposibilidad de conservar el personal al finalizar un proyecto y con ello un alto riesgo de perder parte del conocimiento generado, algo que, en una organización que tiene al saber como su materia prima esencial, puede afectar su competitividad. Este proyecto se realizó en un centro de investigación, desarrollo tecnológico y formación de recursos humanos en el campo de la salud, que busca formas de disminuir el impacto negativo y los costos de las enfermedades infecciosas; parte de la revisión y confrontación de sus prácticas frente a las estado del arte y propone una estrategia de gestión de conocimiento para su incorporación en sus procesos de gestión humana. Su resultado se validó y ajustó con la opinión de un grupo de expertos, quienes concluyeron que los componentes planteados para la estrategia son claros, coherentes y relevantes. Aunque la estrategia planteada fue desarrollada desde la realidad de este centro de investigación en particular, se espera que pueda ser útil como referencia en organizaciones similares.

INTRODUCCIÓN

Los centros de investigación son organizaciones que se dedican a la generación de conocimiento mediante proyectos de investigación científica básica o aplicada en líneas de investigación específicas (Colciencias, 2017); generar, usar y difundir el conocimiento, en consecuencia, no solo hacen parte de su misión sino que impactan directamente su competitividad (Ramezani et al., 2014). Esto es más cierto aún en Colombia, donde la inversión en ciencia y tecnología es cada vez más incierta, lo que obliga a las entidades que realizan investigación científica a ser más organizadas y eficientes. Es ahí donde cobra importancia la relación entre gestión del conocimiento e investigación y desarrollo, ya que los procesos investigativos pueden ser vistos como procesos de gestión del conocimiento (Ansuattigui et al., 2013) y la aplicación de manera consciente de las herramientas y consideraciones de este modelo puede influir en el éxito de la organización.

El centro de investigación donde se realizó la investigación, es un centro de investigación, desarrollo tecnológico y formación de recurso humano en el campo de la salud, cuyo propósito es buscar alternativas para disminuir el impacto negativo y los costos de las enfermedades infecciosas. La institución se financiada a través de la realización de proyectos –de investigación o de formación–, para agencias financiadoras nacionales e internacionales, principalmente de carácter público, para cuyo desarrollo el Centro ha construido a través de tiempo, estrategias y dinámicas de colaboración con instituciones públicas y privadas, de carácter académico, de carácter investigativo, de servicios y médicas alrededor del mundo. La flexibilidad en su estructura y las conexiones colaborativas desarrolladas le han permitido cumplir su propósito por más de cincuenta años, sin embargo, enfrentado a la nueva realidad nacional de la inversión en ciencia y tecnología, se ha visto obligado a evaluar y replantear sus prácticas y políticas con el fin de ser más eficiente y efectivo en sus procesos.

Considerando la importancia del talento humano en una organización de este tipo, donde el conocimiento de los investigadores, laboratoristas, técnicos y administrativos tiene una alta especialización y determina en gran medida la calidad y confiabilidad de los productos y servicios finales, la dirección de la organización consideró importante revisar las políticas, procesos y prácticas de gestión humana, con el ánimo de contribuir a la eficiencia y efectividad de la organización.

Como indican Dussault & Dubois (2003)...

... más que cualquier otro tipo de organización, las organizaciones de salud son altamente dependientes de su fuerza de trabajo. El crecimiento y desarrollo de cualquier organización depende de la disponibilidad de una fuerza de trabajo adecuada, de sus competencias y de su nivel de esfuerzo al intentar realizar las tareas que se le asignan [...] El personal de salud diagnostica problemas y determina qué servicios serán proporcionados, cuándo, dónde y cómo. Las intervenciones en salud están basadas en el conocimiento y los proveedores son los “guardianes” de este conocimiento. (p. 4)

El Observatorio de Talento Humano en Salud (2015, p. 21) de Colombia establece la abundancia de “literatura que muestra la relación entre la disponibilidad y calidad del personal sanitario y los resultados en salud de los sistemas de salud”. Por esa razón, se realizó una revisión de casos tratados, documentados y conocidos por el área de gestión humana y se identificaron situaciones que indican la necesidad de fortalecer la estructura de gestión del conocimiento en el área de gestión humana del Centro, entre otras:

- La rotación del personal en 2016 y 2017 es de 64% en los estudiantes, contratos de prestaciones de servicios y consultores, es decir, aquella que la organización por su naturaleza no puede evitar, pero para la cual es necesario entrenamiento y se asume una curva de aprendizaje de aproximadamente uno a tres meses, dependiendo de la especialización del cargo. La rotación del personal fijo es de 37%; en este caso, además de asumir el tiempo correspondiente a la curva de aprendizaje, los costos asociados a la selección y vinculación de una nueva persona son de un poco más de un millón de pesos.

Esta rotación se debe principalmente a la duración de los proyectos de investigación –definida por sus financiadores–, que varía entre uno y cinco años; si al final del proyecto el investigador no puede ser incluido en un proyecto activo o por iniciar, se debe desvincular. Actualmente no existen mecanismos o herramientas que permitan conservar el conocimiento que desarrolló esa persona durante la ejecución del proyecto, más allá de los entregables que se preparan para el financiador.

- La organización maneja treinta y un proyectos nacionales, cinco proyectos internacionales y ciento un alianzas con centros y universidades nacionales e internacionales, donde participan 36 integrantes del Centro, entre

investigadores y personal de apoyo. Cada uno de estos proyectos y alianzas cuenta con su propia estructura de documentación, reporte, comunicación y solución de problemas. Este tipo de conocimiento, que es clave para el Centro, está muy asociado a las personas y se pierde cuando se ellas se desvinculan.

- Cada vez que se presenta un problema relativo a la selección, vinculación o desvinculación del personal, es necesario realizar un estudio de la situación y las consultas legales correspondientes, ya que no se tienen disponibles los registros o información del análisis realizado en situaciones iguales o similares anteriores.
- En la encuesta de riesgo psicosocial realizada en junio de 2017 en el Centro a diez cargos representativos de la organización, según su nivel de riesgo, los participantes manifestaron estar expuestos a un nivel alto o muy alto de riesgo psicosocial en los factores: retroalimentación del desempeño, claridad del rol, recompensas, consistencia del rol y demandas de la jornada de trabajo; de acuerdo con el análisis de las preguntas de la encuesta, en todos los casos los participantes manifiestan desconocer o no estar actualizados acerca de las condiciones relacionadas con estos factores en su trabajo diario, lo que genera incertidumbre y aumenta la percepción de riesgo.

En las situaciones expuestas es posible identificar la presencia del factor humano, el manejo y trazabilidad de la información y el riesgo psicosocial, factores que se toman en cuenta para la formulación del problema de investigación así: El Centro no cuenta con una estrategia que permita la captura, el almacenamiento y la diseminación del conocimiento en los procesos que desarrolla y lidera gestión humana, lo que genera ineficiencias y pérdidas de calidad en la organización.

En consecuencia de lo dicho, el objetivo del proyecto se definió como el diseño de una estrategia para que el Centro cuente con prácticas de gestión humana y de gestión del riesgo psicosocial que fortalezcan la gestión de calidad, a través de la gestión del conocimiento. Para su cumplimiento, se definieron como objetivos específicos: caracterizar la operación de la gestión del conocimiento en las prácticas actuales de gestión humana y de manejo de riesgo psicosocial del Centro; identificar las prácticas aplicables a los procesos de gestión humana y de manejo de riesgos psicosociales a través de la gestión del conocimiento; construir una estrategia que le permita al Centro aplicar las prácticas de gestión

humana y de manejo de riesgos psicosociales que fortalezcan la calidad a trav3s de la gesti3n del conocimiento; y validar la aplicabilidad de la estrategia propuesta. Se espera que sus resultados se puedan extrapolar y as3 contribuyan a la evaluaci3n y aplicaci3n de pr3cticas que generen eficiencia y calidad en los centros de investigaci3n, en general.

MARCO DE REFERENCIA

ANTECEDENTES

La investigaci3n bibliogr3fica preliminar permiti3 identificar algunos trabajos 3tiles como marco de referencia para los temas a tratar en el proyecto y fijar un punto de partida para la caracterizaci3n de procesos y la identificaci3n de pr3cticas y estrategias de gesti3n del conocimiento y de opciones de medici3n para los factores relevantes en la aplicaci3n de un modelo de gesti3n del conocimiento.

Los documentos relevantes incluyen las investigaciones realizadas por Gelabert y Aguilera (2012), quienes muestran la interrelaci3n que existe entre la gesti3n estrat3gica de los recursos humanos y la gesti3n del conocimiento mediante un an3lisis hist3rico-l3gico de la evoluci3n de cada enfoque hasta llegar al punto donde se integran. La revisi3n de este art3culo permiti3 profundizar los enfoques en la gesti3n de los recursos humanos y el conocimiento y entender los puntos donde ambos se integran.

Tar3 y Garc3a (2009), por su parte, identifican las dimensiones de la gesti3n del conocimiento y de la gesti3n de la calidad para ayudar a los investigadores a medir en futuros estudios ambos conceptos y su posible influencia en los resultados de una organizaci3n. A partir de la revisi3n de su trabajo fue posible profundizar sobre la integraci3n de gesti3n del conocimiento y gesti3n de calidad y observar las distintas dimensiones que pueden evaluarse para el desarrollo de esta integraci3n.

Gonz3lez et al. (2015) realizaron una caracterizaci3n y medici3n de la gesti3n del conocimiento en 76 grupos de investigaci3n de la Universidad Pedag3gica y Tecnol3gica de Colombia, en donde identificaron los procesos y factores relevantes que inciden en la generaci3n de conocimiento, incluyendo aquellos relativos a los recursos humanos y la calidad, as3 como los que constituyen una barrera, informaci3n de gran relevancia para la caracterizaci3n de los procesos

del caso de estudio específico de este proyecto y como datos de entrada a la hora de proponer las estrategias a aplicar.

Vergara (2010) propuso un modelo que integra la gestión de procesos, la gestión del capital intelectual y la gestión del conocimiento; su modelo inicia con la caracterización de los procesos y atributos presentes en distintos centros de investigación, los cuales compara con la información recopilada en su marco teórico y finalmente propone un nuevo mapa que incluye los procesos relativos a la gestión del conocimiento y al capital intelectual. Igualmente propone indicadores asociados a estos procesos y estrategias de gestión del conocimiento. Esta investigación permite conocer una metodología aplicada para la caracterización de los procesos de un centro de investigación e identificar las actividades o estrategias de gestión de conocimiento existentes y la realización de propuestas y prácticas para adoptar la gestión del conocimiento en los procesos investigativos.

Finalmente, la revisión de la “Batería de instrumentos para la evaluación de factores de riesgo psicosocial” (Ministerio de Protección Social, 2010), hizo posible identificar los factores de riesgo psicosocial que fueron planteados para construir instrumentos de evaluación del riesgo y conocer el proceso y los resultados de la aplicación de esta evaluación a una muestra de trabajadores afiliados al Sistema General de Riesgos Profesionales. Este documento, además de ayudar en la comprensión de los instrumentos de evaluación de riesgo psicosocial y los factores asociados a ellos, ofrece indicadores e indicios sobre los planes de acción que permiten el control y la prevención de los riesgos.

MARCO TEÓRICO

En este apartado se retoman los conceptos y relaciones expuestas en el planteamiento del problema: gestión del conocimiento, gestión del talento humano, gestión de calidad y riesgo psicosocial, realizando una revisión de lo propuesto por diversos autores al respecto, para posteriormente conectarlos al desarrollo del caso particular.

GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO

Para Davenport y Prusak (1998) el conocimiento es una fuente de ventaja competitiva para la organización, un recurso de naturaleza intangible, tácita y compleja, que reside en la mente de las personas y que es necesario volver

explícito para almacenarlo, codificarlo, compartirlo y aplicarlo, generando así mejoras e innovación.

Nonaka y Takeuchi (1999) consideran a la gestión del conocimiento como un sistema facilitador de la búsqueda, codificación, sistematización y difusión de las experiencias individuales y colectivas del talento humano, para convertirlas en conocimiento globalizado y útil en la realización de todas las actividades de la organización, lo que permite generar ventajas competitivas.

Andreu y Sieber (1999) definen a la gestión del conocimiento como el proceso que continuamente asegura el desarrollo y la aplicación de todo tipo de conocimientos pertinentes de una empresa con objeto de mejorar su capacidad de resolución de problemas y así contribuir a la sostenibilidad de sus ventajas competitivas.

Harman y Brelade (2000), por su parte, afirman que la gestión del conocimiento es la adquisición y el uso de recursos para crear un entorno en el que la información es accesible a los individuos y en el que los individuos adquieren, comparten y usan dicha información para desarrollar su propio conocimiento y son alentados y habilitados para aplicarlo en beneficio de la organización.

Todas estas definiciones tienen en común la visión del conocimiento expresado en información, experiencias, relaciones, flujos y procesos que pueden usarse como una ventaja para la organización; en todas ellas se destaca el papel principal de los individuos en la generación y recepción del conocimiento y se relaciona su adecuada gestión con el logro de ventajas competitivas, eficiencia y mejoras.

GESTIÓN DE RECURSOS HUMANOS

Este concepto depende en gran medida de la perspectiva y los paradigmas organizacionales del momento: Cabrera (2003) revisa la concepción de Taylor y McGregor del hombre en la organización y establece que en esta fase la administración del recurso humano se dedicaba a controlar el trabajo del personal para aumentar su rendimiento; Dressler y Varela (2011) establecen que la administración de recursos humanos se refiere a las prácticas y a las políticas para manejar los asuntos que tienen que ver con las relaciones personales de la función gerencial y enumeran las prácticas y políticas de la administración de recursos humanos y lo que un gerente debe saber sobre su recurso humano;

Chiavenato (2009) ofrece una versión más integral, centrada en el individuo, y define la administración de recursos humanos como el área que construye talentos –por medio de un conjunto integrado de procesos–, y cuida el capital humano de las organizaciones, el cual indica es el elemento fundamental de su capital intelectual y la base de su éxito. La TABLA 1 resume, desde una perspectiva histórica, diversas percepciones acerca de la administración de los recursos humanos.

Tabla 1. Evolución de la función de personal en las organizaciones (González, 1999)

Periodo	Modelo de conducta laboral	Modelo de dirección	Denominación
Inicios (1880-1945)	Hombre como maquina	Organización científica del trabajo	Administración de personal
Desarrollo (1945-1970)	Hombre como miembro de un grupo / Hombre como persona	Escuela de las relaciones humanas / Modelos humanistas	Relaciones industriales / Dirección de personal
Cambio (1970-1990)	Conducta organizacional (perspectiva micro)	Teoría general de sistemas / Teoría contingente	Administración de recursos humanos
Estratégico (desde 1990)	Conducta organizacional (perspectiva micro y macro)	Teoría contingente / Teoría configuracional	Dirección estratégica de recursos humanos / Gestión del talento humano

Retomando la última fila de la TABLA 1, se puede afirmar que actualmente se reconoce que este es un recurso estratégico en la consecución de los objetivos de una organización; que la velocidad de los cambios y la tecnología ha propiciado organizaciones más complejas, innovadoras y competitivas, donde los recursos físicos y financieros dejaron de ser la principal ventaja organizacional y le ha dado paso al conocimiento como el recurso más importante de la organización, una realidad ha obligado a replantear los procesos necesarios para la gestión del talento humano.

De acuerdo con Idalberto Chiavenato (2009), la administración moderna de recursos humanos está integrada por seis procesos principales: integrar personas, organizar personas, recompensar personas, desarrollar personas, retener personas y auditar personas. Esta afirmación se toma como referencia para los procesos considerados en el caso de estudio, como se aprecia en la TABLA 2.

Tabla 2. Principales procesos de gestión del talento humano (Chiavenato, 2009)

Proceso	Detalle
Integrar a las personas	Quién debe trabajar en la organización: <ul style="list-style-type: none"> • selección de personal; y • contratación del personal.
Organizar a las personas	Qué deben hacer las personas: <ul style="list-style-type: none"> • diseño de cargos; y • evaluación del desempeño.
Recompensar a las personas	Cómo recompensarlas: <ul style="list-style-type: none"> • recompensas y remuneración; y • prestaciones y servicios.
Desarrollar a las personas	Cómo desarrollarlas: <ul style="list-style-type: none"> • formación y desarrollo; • programas de cambio; y • programas de comunicación.
Retener a las personas	Como conservarlas: <ul style="list-style-type: none"> • prestaciones; y • descripción y análisis de cargos.
Auditar a las personas	Cómo saber qué hacen y qué son: <ul style="list-style-type: none"> • sistema de información administrativa; y • banco de datos.

SISTEMAS DE GESTIÓN Y GESTIÓN DE CALIDAD

Los principales conceptos asociados a los sistemas de gestión y la gestión de calidad presentes en el Centro, se presentan a continuación.

Tarí y García (2009) definen la gestión de calidad como un sistema de gestión que persigue el mantenimiento y la mejora continua de todas las funciones de una organización con el objetivo de satisfacer las necesidades y expectativas de los clientes. En esta definición, la gestión de calidad está asociada a un comportamiento sistemático que permita su aplicación y sostenimiento. El concepto de sistema de gestión de calidad, de acuerdo con la ISO 9000:2015 es aquella parte del sistema de gestión de la organización enfocada en el logro de resultados, en relación con los objetivos de la calidad, que gestiona procesos y recursos para aportar valor a las partes interesadas y proporciona los medios para identificar las acciones para abordar las consecuencias previstas y no previstas de la organización.

Uno de los sistemas que hace parte de la gestión del dentro de investigación es el Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo [SGSST], el mismo que la ley 1562 de 2012 define como un proceso lógico y por etapas, basado en la mejora continua, que incluye la política, la organización, la planificación, la aplicación, la evaluación, la auditoría y las acciones de mejora dirigidas a anticipar, reconocer, evaluar y controlar los riesgos que puedan afectar la seguridad y salud en el trabajo.

El sistema de gestión ambiental, por su parte, es definido por Massolo (2015), como el conjunto de acciones y estrategias mediante las cuales se organizan las actividades antrópicas que influyen sobre el ambiente, con el fin de lograr una adecuada calidad de vida, previniendo o mitigando los problemas ambientales. En el Centro, este sistema se aplica bajo las directrices establecidas a nivel nacional por parte del Ministerio de Medio Ambiente [Minambiente] y a nivel local por el Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente [DAGMA].

El Centro, como una entidad de investigación en el campo de la salud también requiere la integración de otros sistemas a sus políticas y procesos.

Las Buenas Prácticas Clínicas [BPC] son definidas por el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos [Invima] (2009), como un estándar de calidad ética y científica para el diseño, la conducción, la realización, el monitoreo, la auditoría, el registro, el análisis y el reporte de estudios clínicos que involucran la participación de seres humanos. Este modelo garantiza que los datos y los resultados reportados son creíbles y precisos y garantizan los derechos, la integridad y la confidencialidad de los sujetos del estudio.

El Ministerio de Salud y Protección Social [Minsalud] ha establecido como condiciones de habilitación que deben cumplir los prestadores de servicios de salud para su entrada y permanencia en el Sistema Obligatorio de Garantía de Calidad de la Atención de Salud a: la capacidad técnico-administrativa; la suficiencia patrimonial y financiera; y la capacidad tecnológica y científica (resolución 2003 de 2014).

Para los proyectos de investigación, el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación [Colciencias] (2017), ha establecido los requisitos que los centros de investigación deben cumplir, los cuales buscan que cada centro establezca el desempeño, los logros y la calidad del desarrollo de las actividades de investigación, de tal forma que el reconocimiento de los

centros sea visto como un motor de la calidad y de la formación de capacidades y consolidación de las instituciones en sí mismas.

Los procesos asociados con cada uno de estos requerimientos integran el sistema de gestión del Centro, en ellos se presentan los requerimientos relacionados con las prácticas de gestión humana, las cuales son importantes en el desarrollo del proyecto. Adicionalmente, por tratarse de un centro de investigación en salud, el componente humano es un factor relevante, si no el más importante en la calidad de sus resultados.

FACTORES PSICOSOCIALES Y RIESGO PSICOSOCIAL

En el Informe del Comité Mixto de la Organización Internacional del Trabajo y la Organización Mundial de la Salud sobre Medicina del Trabajo (1986), se definieron los factores psicosociales desde dos aspectos: el primero, las interacciones relacionadas con el ambiente de trabajo, como el medio ambiente, la satisfacción y las condiciones de la organización; el segundo, desde lo relacionado con el trabajador, sus necesidades, su cultura y su situación personal fuera del trabajo, todo lo cual, a través de percepciones y experiencias, puede influir en la salud, en el rendimiento y la satisfacción en el trabajo.

El Ministerio de Salud y Protección Social ha establecido que los factores psicosociales comprenden tanto los aspectos intralaborales como los extralaborales o externos a la organización, y las condiciones individuales o características intrínsecas del trabajador, los cuales en una interrelación dinámica, mediante percepciones y experiencias, influyen en la salud y el desempeño de las personas (resolución 2646 de 2008).

Cuando los factores organizacionales y psicosociales de las empresas y organizaciones tienen la probabilidad de afectar negativamente a la salud y al bienestar del trabajador se convierten en factores de riesgo (Moreno & Baez, 2010); en consecuencia, Minsalud determinó que los factores psicosociales deben ser evaluados objetiva y subjetivamente utilizando instrumentos que para el efecto hayan sido validados en el país (resolución 2646 de 2008). Para ese fin, la Dirección General de Riesgos Profesionales de Minsalud, con el apoyo de la Pontificia Universidad Javeriana, diseñó una batería de instrumentos de evaluación de los factores de riesgo psicosocial en donde se determinaron los dominios y dimensiones laborales a monitorear en las organizaciones (TABLA 3).

Tabla 3. Dominios y dimensiones psicosociales (Minsalud, 2010)

Constructo	Dominios	Dimensiones
Condiciones intralaborales	Demandas del trabajo	<ul style="list-style-type: none"> • Demandas cuantitativas • Demandas de carga mental • Demandas emocionales • Exigencias de responsabilidad del cargo • Demandas ambientales y de esfuerzo físico • Demandas de la jornada de trabajo • Consistencia del rol • Influencia del ambiente laboral sobre el extralaboral
	Control	<ul style="list-style-type: none"> • Control y autonomía sobre el trabajo • Oportunidades de desarrollo y uso de habilidades y destrezas • Participación y manejo del cambio • Claridad de rol Capacitación
	Liderazgo y relaciones sociales en el trabajo	<ul style="list-style-type: none"> • Características del liderazgo • Relaciones sociales en el trabajo • Retroalimentación del desempeño • Relación con los colaboradores (subordinados)
	Recompensa	<ul style="list-style-type: none"> • Reconocimiento y compensación • Derivadas de pertenecer a la organización y del trabajo que realiza
Condiciones extralaborales		<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo fuera del trabajo • Relaciones familiares • Comunicación y relaciones interpersonales • Situación económica del grupo familiar • Características de la vivienda y de su entorno • Influencia del entorno extralaboral sobre el trabajo • Desplazamiento vivienda–trabajo–vivienda
Condiciones individuales	Información sociodemográfica	<ul style="list-style-type: none"> • Género • Edad • Estado civil • Escolaridad (último nivel alcanzado) • Ocupación o profesión • Lugar de residencia • Estrato socioeconómico de la vivienda • Tipo de vivienda (propia, familiar o en arriendo) • Número de personas a cargo • Lugar actual de trabajo • Antigüedad en la empresa • Nombre del cargo • Tipo de cargo (jefatura, profesional, auxiliar u operativo) • Antigüedad en el cargo actual • Departamento, área o sección donde trabaja • Tipo de contrato • Horas de trabajo diarias contractualmente establecidas • Modalidad de pago

Los resultados de una evaluación previa de estos dominios y dimensiones en el Centro fueron un insumo utilizado en la definición del problema y en la caracterización de sus prácticas de gestión humana actuales.

CONSTRUCCIÓN DE LA PROPUESTA

IDENTIFICACIÓN DE COMPONENTES DEL PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA EN EL MAPA DE PROCESOS

En las situaciones expuestas en el planteamiento del problema se identificaron unos componentes principales, con el fin de establecer cómo estos componentes se relacionan a las actividades y prácticas de gestión humana y los procesos del Centro, se realizó el cruce de ellos con el mapa de procesos institucional.

MAPA DE PROCESOS DEL CENTRO

La FIGURA 1 corresponde a la segunda versión del mapa de procesos del Centro, vigente desde 2016 y está dividida en procesos estratégicos, misionales y de apoyo. En la Tabla 4 se resume el contenido o naturaleza de cada uno de ellos. La claridad de este contenido o subdivisión del proceso permite el cruce con cada uno de los componentes y subcomponentes del problema.



Figura 1. Especificación ESP01020 - Mapa de procesos del Centro, versión 2

Tabla 4. Contenido de los procesos

Tipo	Proceso	Comprende...
Estratégicos	Gestión directiva	Políticas y procedimientos relativos al direccionamiento general de la organización.
	Gestión de calidad	Procedimientos y documentación relativos a los sistemas y requerimientos de calidad en la organización, incluyendo los de la IPS al servicio de la investigación, requerimientos ambientales y requerimientos de seguridad y salud en el trabajo.
	Relaciones corporativas	Procedimientos relativos a las relaciones con los financiadores y los clientes de los servicios distintos a investigación.
Misionales	Investigación	Procedimientos para planear y gestionar el ejercicio investigativo en el campo de la salud, cumpliendo los requerimientos científicos y administrativos aplicables.
	Formación	Documentación y procedimientos para la gestión de formación de recurso humano externo en el campo de la salud de acuerdo con las expectativas de los participantes y los requisitos del Centro.
	Servicios científicos y tecnológicos	Procedimientos y documentos que se aplican a los servicios distintos a investigación ofrecidos por el Centro a los clientes y financiadores, con la calidad, confiabilidad y oportunidad requerida y de acuerdo con la normatividad interna y externa aplicable.
De apoyo	Gestión humana	Documentos y procedimientos que permiten seleccionar, vincular, gestionar y desvincular al personal necesario para el cumplimiento de las actividades del Centro.
	Gestión financiera y contable	Documentos y procedimientos necesarios para garantizar la disponibilidad, ejecución y registro de los recursos económicos y financieros, enmarcados en la normatividad contable, tributaria tanto de las entidades reguladoras como de los financiadores de proyectos.
	Servicios de apoyo a la investigación	Documentación y procedimientos necesarios para dar apoyo a los procesos investigativos en cuanto actividades de bioestadística, manejo de cepas, manejo de bases de datos, servicio farmacéutico y comité de ética.
	Compras	Documentos y procedimientos necesarios para garantizar el abastecimiento de productos y servicios que cumplan con las especificaciones de calidad y oportunidad requeridas por el Centro.
	Mantenimiento y metrología	Documentos y procedimientos necesarios para garantizar la disponibilidad, confiabilidad y operación segura de los equipos e infraestructura mediante un control efectivo de los recursos, con el fin de satisfacer las necesidades del Centro.
	Servicios internos	Procedimientos y documentos que permiten prestar servicios varios, como mensajería, transporte, gestión documental y vigilancia, controlando de manera efectiva los recursos para satisfacer las necesidades del Centro.

Propuesta para la gestión del conocimiento en los procesos de gestión humana de un centro de investigaciones

El cruce de cada uno de los componentes y subcomponentes del planteamiento del problema con el mapa de procesos se refleja en la FIGURA 2, este cruce muestra que los componentes pueden estar presente en dos o más procesos, por lo que es importante considerar un cruce más detallado que permita relacionar con mayor precisión estos componentes en las actividades del Centro e identificar brechas.

Teniendo esto en cuenta, se evalúa la información asociada al mapa de procesos y se identifica que la organización ha estructurado documentación

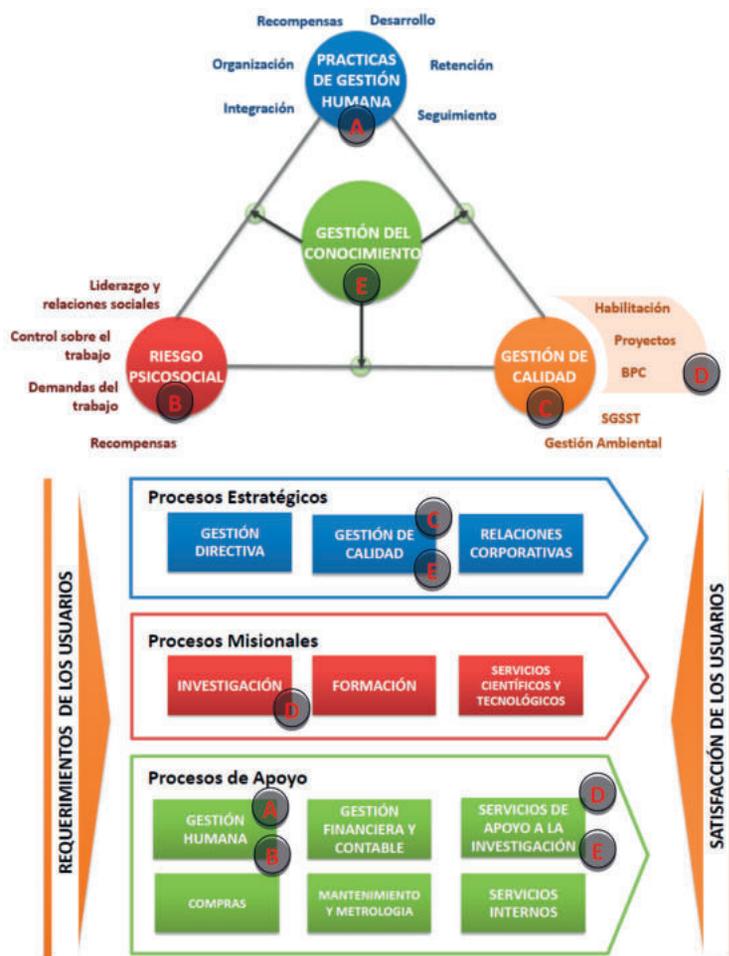


Figura 2. Identificación de los componentes del problema en los procesos establecidos para las actividades del Centro

(manuales, especificaciones, instructivos, formatos) que soportan e ilustran sus actividades diarias y que son un buen indicativo de las prácticas aplicadas, estandarizadas y difundidas en ella, a un nivel de detalle más profundo que permite el cruce con cada subcomponente.

DOCUMENTOS Y REGISTROS DEL CENTRO

La identificación de los documentos y registros de la organización fue realizada principalmente a través de dos fuentes: el listado maestro de documentos y las tablas de retención documental. El listado maestro de documentos incluye un inventario de los manuales, procedimientos, especificaciones, instructivos y formatos de cada proceso de la organización y aunque es continuamente actualizado, por ser un registro manual que ha sido alimentado por diferentes cargos desde su implementación, tiene inconsistencias en fechas y códigos que debieron ser identificadas y depuradas para tomarlo como referencia en este caso; este listado solo incluye los documentos registrados en el Sistema de Gestión de Calidad del Centro y deja por fuera aquellos que, a pesar de ser parte de las actividades diarias, no requieren el mismo nivel de control que la documentación del sistema.

En cuanto a las tablas, cabe mencionar que en los procesos se utilizan documentos de trabajo y registros que hacen parte de las actividades diarias de la organización, que son archivados y conservados como su soporte, pero de los cuales no se cuenta con un inventario ni con una definición sobre el tiempo de conservación y su disposición final.

Para subsanar esto último, en noviembre de 2017, con el apoyo del equipo de gestión documental de la Universidad Icesi, se inició un proyecto para levantar la información de estas tablas, de tal manera que pudieran ser llevadas a aprobación del comité de archivo institucional. Para el levantamiento de la información de las tablas, el equipo de gestión documental, realizó reuniones con el personal de cada una de las áreas del Centro y solicitó información acerca de los registros emitidos y archivados. Finalizando el mes de febrero de 2018 se remitieron los borradores de las tablas a cada coordinador de área para su validación y durante marzo se aplicaron las observaciones recibidas y se produjo una versión para aprobación del comité de archivo institucional. La recolección de la información de las tablas permitió revisar la información contenida en el listado maestro y validar las versiones y fechas de los documentos ya registrados en el mismo.

CONSTRUCCIÓN DE LA HERRAMIENTA PARA IDENTIFICAR LA GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO EN LAS PRÁCTICAS DE GESTIÓN HUMANA

Para identificar los subcomponentes de gestión del conocimiento en las prácticas de gestión humana, se revisó la base de datos que compila los documentos y registros de la organización y provee información detallada del conocimiento explícito, y se entrevistó a personas del Centro relacionadas con las prácticas de gestión humana, manejo del riesgo psicosocial y gestión del conocimiento.

BASE DE DATOS DE DOCUMENTOS Y REGISTROS

La base de datos fue construida uniendo el listado maestro de documentos y el inventario de las tablas de retención documental y tiene los siguientes campos: proceso (donde fue clasificado el documento); unidad (la emisora de la versión inicial del documento); tipo del documento (clasificación general, esto es acta, base de datos, descripción de cargo, documento de trabajo, especificación, formato, informe, instructivo, manual, procedimiento o reglamento); código calidad o TRD (código asignado al inscribir el documento en el sistema de gestión de calidad o serie y sub-serie asignadas en la tabla de retención documental); nombre (el asignado al documento o registro); versión (desde la primera, iniciando en 01); fecha actualización (la de la última versión aprobada del documento); e identificador GC (el código que identifica el subcomponente con el que está asociado cada documento). Este último campo permite relacionar cada uno de los documentos y registros con uno o más subcomponentes (el identificador asignado a cada subcomponente se muestra en la TABLA 5).

Después de tener la base de datos completa y los identificadores definidos fue posible revisar uno a uno los 978 documentos y asignar los subcomponentes asociados según su contenido; la clasificación realizada fue revisada también por dos integrantes del proceso de gestión humana de la organización, la encargada del sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo y la encargada de la nómina, contratación y desvinculación. El resultado se presenta en la TABLA 6, para su revisión es conveniente tener en cuenta que un mismo documento puede estar asociado a dos o más subcomponentes.

Con la información proporcionada por la base de datos se identificaron los subcomponentes presentes en la documentación de cada proceso, y con ello se pudo graficar un mapa de procesos (FIGURA 3) que da la idea general del estado de la gestión del conocimiento en la organización y su distribución por proceso.

Tabla 5. Identificador de cada componente y subcomponente

Componente	Subcomponente	Identificador
Prácticas de gestión humana	Integración	GH01
	Organización	GH02
	Recompensas	GH03
	Desarrollo	GH04
	Retención	GH05
	Seguimiento	GH06
Riesgo psicosocial	Liderazgo y relaciones sociales	RP01
	Control sobre el trabajo	RP02
	Demandas del trabajo	RP03
	Recompensas	RP04
Gestión de calidad	Proyectos	GQ01
	BPC	GQ02
	Habilitación	GQ03
	SGSST	GQ04
	Gestión ambiental	GQ05
Gestión del conocimiento	Gestión del conocimiento	GC
Investigación	Documentos técnicos de investigación	INV
Administración	Documentos técnicos de administración	ADM

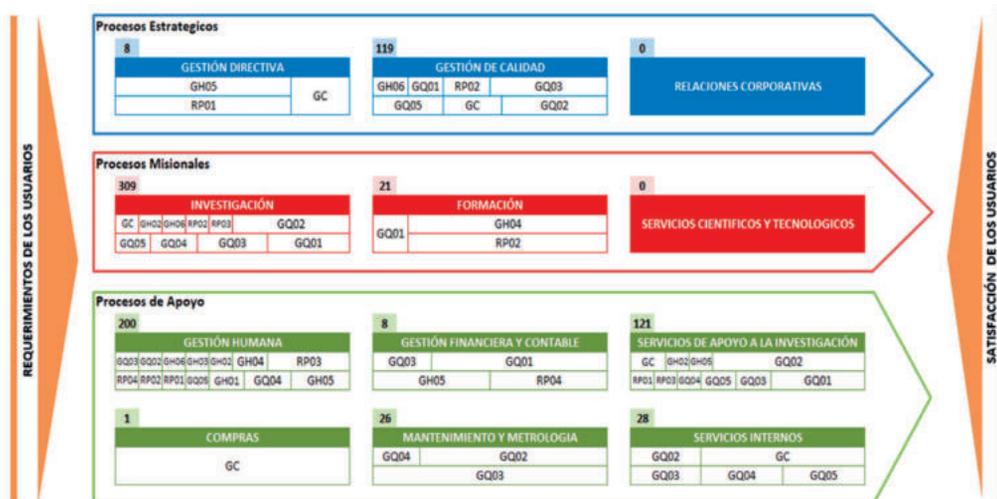


Figura 3. Identificación de subcomponentes de gestión del conocimiento en las prácticas de gestión humana por proceso y número del documento donde están presentes

Propuesta para la gestión del conocimiento en los procesos de gestión humana de un centro de investigaciones

Tabla 6. Subcomponentes identificados en los documentos del Centro

Componente	Subcomponente	Identificador	Cuenta de identificador
Gestión de calidad			592
	BPC	GQ01	260
	Gestión ambiental	GQ02	32
	Habilitación	GQ03	139
	Proyectos	GQ04	109
	SGSST	GQ05	52
Prácticas de gestión humana			109
	Desarrollo	GH01	26
	Integración	GH02	14
	Organización	GH03	12
	Recompensas	GH04	5
	Retención	GH05	41
	Seguimiento	GH06	11
Riesgo psicosocial			108
	Control sobre el trabajo	RP01	28
	Demandas del trabajo	RP02	53
	Liderazgo y relaciones sociales	RP03	17
	Recompensas	RP04	10
Gestión del conocimiento			32
	Gestión del conocimiento		32
Investigación			
	Documentos técnicos de investigación	INV	403
Administración			
	Documentos técnicos de administración	ADM	121
Total general			1365

Además de la información por proceso, la base de datos construida permite conocer el estado de las prácticas de gestión humana, manejo de riesgo psicosocial, calidad y gestión de conocimiento, a través de los siguientes indicadores: número de documentos por subcomponente; puntos fuertes y puntos por mejorar en términos de los componentes identificados en el problema; número de subcomponentes asociados por documento; número de versiones de los documentos por subcomponente y proceso; y tiempo transcurrido desde la última actualización de los documentos de cada subcomponente.

En la FIGURA 4 se muestra el resultado obtenido para el primer indicador definido, en ella se puede apreciar que el eje “gestión de calidad”: tiene el mayor número de documentos (592); sus subcomponentes son BPC, gestión ambiental, habilitación, proyectos y SGSST, todos asociados a normatividad de obligatorio cumplimiento y relacionados con el componente técnico del Centro. En contraste, los ejes de riesgo psicosocial y gestión humana tienen un 82 % menos documentación, lo que confirma lo planteado en la formulación del problema.

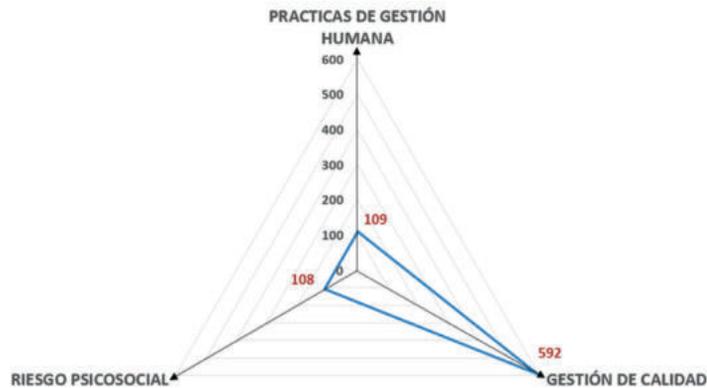


Figura 4. Número de documentos asociados a cada subcomponente

Para los otros tres indicadores, se propone un indicador unificado que incluye una calificación para la versión y el tiempo transcurrido desde la última actualización. Para el número de subcomponentes por documento se busca destacar los documentos que contienen o referencian un mayor número de subcomponentes, por lo que el resultado que se obtiene es el de la expresión (1).

$$\text{Suma de identificadores} = \sum \text{identificador por cada documento} \quad (1)$$

Para la calificación de la versión se busca destacar aquellos documentos con menos actualizaciones, por lo que el resultado de la expresión (2) disminuye a medida que el número de la versión aumenta.

$$\text{Calificación versión} = 100 - \text{versión actual} \quad (2)$$

Para el indicador final (3) se incluye el n3mero de a3os desde la 3ltima actualizaci3n y la calificaci3n de la versi3n. Este indicador busca destacar aquellos documentos con menos versiones y m3s a3os sin actualizar.

$$\text{Indicador} = \text{Calificaci3n de versi3n} \times \text{N3mero de a3os sin actualizar} \quad (3)$$

Los documentos para los cuales el resultado del indicador es mayor son aquellos que no han tenido revisiones recientes de su contenido y aquellos que requieren mayor atenci3n. Con el fin de que estos documentos sean f3cilmente identificables en el listado, se plantea el uso de un sem3foro de colores en la cual la clasificaci3n de los documentos en cada categor3a del sem3foro se realiza mediante un s3mil a la metodolog3a de clasificaci3n de inventarios ABC.

El principio de Pareto anunci3 en su momento que la mayor parte de la riqueza nacional es controlada por unos pocos y la mayor parte de la poblaci3n controla s3lo una peque3a porci3n de la riqueza (Castro et al., 2011). Este principio, aplicado a la gesti3n de inventarios, permite clasificar los 3tems en categor3as distintas teniendo en cuenta criterios como su valor total, el precio unitario, la demanda y su aporte a las utilidades, entre otros. Los art3culos categor3a A son los m3s importantes y deber3an estar sometidos a un estricto control de inventario; los de categor3a B son de importancia secundaria, pero deben ser monitoreados porque podr3an convertirse en art3culos tipo A o tipo C; los de la categor3a C son los de menor importancia y, en consecuencia, requieren poca supervisi3n.

Esta categorizaci3n permite entonces determinar en qu3 3tems del inventario concentrar los mayores esfuerzos para obtener un mayor impacto en el criterio seleccionado y tomar decisiones m3s eficientes (Vidal, 2005). En este caso particular, determinar esta clasificaci3n permite saber qu3 documentos deben ser revisados y actualizados primero para tener un mayor impacto en los criterios que componen el indicador.

La aplicaci3n de esta metodolog3a permiti3 obtener los resultados de la FIGURA 5 en la cual se indica que la relaci3n 80/20 referida por Pareto no es tan clara en este caso y se asimila m3s a una relaci3n 40/60, lo que se debe a que el estado de los documentos respecto de su versi3n, fecha de actualizaci3n y n3mero de componentes no difiere tanto de un documento a otro; sin embargo, da un buen indicio de c3mo puede priorizarse la revisi3n de documentos teniendo en cuenta el impacto que podr3a tener en los criterios del

indicador. Los límites establecidos en la gráfica de Pareto permiten determinar el número de documentos para su clasificación y asignación de color en el semáforo. Una muestra de los documentos y su clasificación se puede observar en la TABLA 7. En ellas, en todos los casos la versión es igual a 1 y la calificación de la versión es 99.

Tabla 7. Herramienta para la priorización de la revisión de documentos

Suma iden- tificadores	Código GCTRD	Nombre	Última actualización	Años sin analizar	Indicador	Acción
1	ESPO7024	Ficha técnica del agar Ogawa Kudoh	Dic. 2010	7,3	724	Inmediata
1	ESPO7025	Inserto caldo de tioglicolato	Dic. 2010	7,3	724	Inmediata
1	ESPO7026	Ficha técnica del tioglicolato	Dic. 2010	7,3	724	Inmediata
1	FORO7190	Revisión de productos	Dic. 2010	7,3	724	Corto plazo
1	FORO7191	Certificado de análisis agar nutritivo	Dic. 2010	7,3	724	Corto plazo
2	DDCO1015	Descripción del cargo de coordinador de inmunología y biología celular	Ene. 2011	6,5	1279	Corto plazo
2	DDCO1016	Descripción del cargo de coordinador de investigación en leishmaniasis	Ene. 2011	6,5	1279	Mediano plazo
2	DDCO1020	Descripción del cargo de auxiliar recepción de leishmaniasis	Ene. 2011	6,5	1279	Mediano plazo
3	SOPO9011	Obtención de amastigotes de leishmania	Jun. 2004	13,8	4109	Mediano plazo

Total de documentos	Tipo de inventario	Porcentaje	Límite tipo
936	A: Critico	40	375
936	B: Urgente	30	656
936	C: Por revisar	30	937

Estos resultados junto al análisis de cuáles son las practicas o políticas de gestión humana y manejo de riesgo psicosocial para el fortalecimiento de la calidad que no se encuentran presentes en la documentación permite establecer las brechas que se abordan en la estrategia propuesta.

Propuesta para la gestión del conocimiento en los procesos de gestión humana de un centro de investigaciones

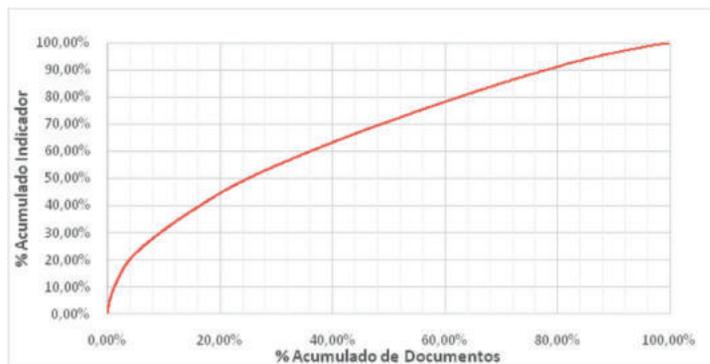


Figura 5. Determinación gráfica del límite para cada categorías de documento

RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN SOBRE PRÁCTICAS DE GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO, GESTIÓN HUMANA Y MANEJO DEL RIESGO PSICOSOCIAL

Para la recolección de información sobre las prácticas de gestión del conocimiento se realizó una revisión de los documentos y bases de datos de la organización y algunas entrevistas (ver guía de preguntas en el anexo) con colaboradores de la organización relacionados con gestión humana y con las actividades de formación individual y grupal que son de gran ayuda para complementar y confirmar la información inicialmente recopilada: la coordinadora de formación; la asistente administrativa de gestión humana y la asistente administrativa de seguridad social y salud en el trabajo.

Dentro de la información recopilada también se tuvo en cuenta la propuesta realizada de los componentes de gestión del conocimiento presentes en el Centro (Chamorro, 2015), un documento que fue construido desde el conocimiento de los proyectos y actividades del área de investigación y formación del Centro. Los componentes identificados se encuentran representados en la FIGURA 6.

Al revisar los resultados de las entrevistas realizadas –ver Montero (2018, Anexo 3)–, respecto de las actividades de gestión del conocimiento y gestión humana de la organización y la información recopilada en la intranet, la página web y la documentación de los procesos se pudo establecer lo siguiente:

La información del personal se recopila mediante:

- la base de datos de perfil sociodemográfico del personal;
- el archivo de hojas de vida con información de experiencia y formación;

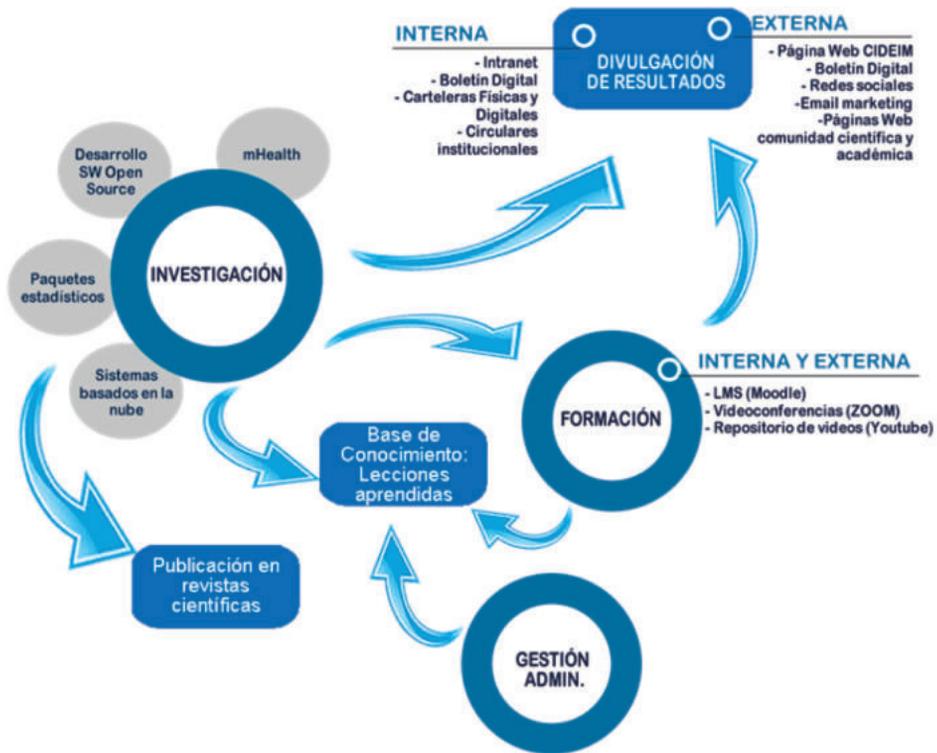


Figura 6. Propuesta de la gestora de TIC y e-learning de los componentes de gestión del conocimiento del Centro (Chamorro, 2015)

- la base de datos de información general y contacto de los empleados;
- el archivo de seguridad y salud ocupacional;
- el archivo de actividades de capacitación y socialización de gestión humana; y
- los resultados y análisis de la encuesta psicosocial.

El modelo de trabajo del Centro procura esfuerzos en red, convenios y alianzas e impulsa estrategias y dinámicas de colaboración con instituciones públicas y privadas, académicas, de servicios y médicas. Actualmente tiene convenios formales con ocho universidades de primer nivel, la Fundación Valle de Lili, la Secretaría de Salud de Bogotá y el Instituto Nacional de Salud, y está gestionando convenios con otras dos universidades y una secretaría de salud departamental. Así mismo, forma parte de ocho redes entre nacionales e internacionales.

Los espacios de reuniones y para compartir informaci3n son:

- las reuniones de comit3 de convivencia laboral y comit3 de seguridad y salud en el trabajo;
- las reuniones semanales del equipo de laboratorio de la organizaci3n; los clubes de revistas de las unidades;
- las reuniones de seguimiento de los proyectos;
- las presentaciones de avance y final de los estudiantes en formaci3n; y
- las reuniones del comit3 directivo.

Las actividades de entrenamiento de la organizaci3n son:

- la asistencia a reuniones, conferencias y talleres nacionales e internacionales en las l3neas investigativas de la organizaci3n;
- la formaci3n de los colaboradores a trav3s del programa de formaci3n interno de la organizaci3n;
- la formaci3n espec3fica a comit3s de convivencia y seguridad y salud en el trabajo sobre riesgo psicosocial y la formaci3n de estudiantes y pasantes mediante entrenamiento con tutores.

Las actividades de formaci3n se concentran principalmente en el personal de investigaci3n. Las herramientas para compartir informaci3n dentro y fuera de la organizaci3n son:

- la intranet y las carteleras;
- la carpeta en la red local (Antares);
- la p3gina web y el bolet3n digital;
- el e-mail marketing;
- el e-mail institucional;
- el tel3fono;
- la plataforma de videoconferencias (Zoom, Skype);
- la plataforma de entrenamiento virtual (Moodle);
- las redes sociales (Facebook, Twitter); y
- las bases de datos cl3nicas y de laboratorio (Histoweb, BD Enrolamiento, Biobanco).

Respecto de la informaci3n entregada a los colaboradores para el ejercicio de sus actividades:

- no se tienen descripciones de perfil o manual de funciones para todos los cargos, los que hay deben ser revisados porque se encuentran desactualizados;
- no hay una definición clara de metas y objetivos organizacionales; la entidad no comparte con todos sus colaboradores información de avances y situación financiera y administrativa de la organización;
- se identifica que no todas las actividades de los procesos han sido documentadas y que su actualización depende de una necesidad explícita, no de una política de revisión periódica de los mismos;
- no se han levantado documentos relativos a la gestión del conocimiento (procedimiento de entrega de cargo, identificación de quién tiene qué conocimiento, lecciones aprendidas, buenas prácticas, sugerencias del personal);
- el personal cuenta con autonomía para la realización de sus actividades y su horario de trabajo mientras cumpla con los entregables definidos en las fechas establecidas para las actividades y proyectos.

IDENTIFICACIÓN DE LAS PRÁCTICAS APLICABLES A LOS PROCESOS DE GESTIÓN HUMANA Y MANEJO DEL RIESGO PSICOSOCIAL

Como punto inicial de la identificación de las prácticas aplicables a los procesos de gestión humana y de manejo de riesgo psicosocial, y después de revisar el material de referencia, se obtuvo la información que se presenta en la TABLA 8, que corresponde a las etapas de gestión del conocimiento usadas en cada artículo.

Con esta información fue posible determinar, para el caso específico, las etapas o componentes de gestión del conocimiento que se tendrán en cuenta en la estrategia planteada: identificar, crear, organizar, conservar, transferir, usar. Posteriormente, se clasificó en cada etapa las actividades que los artículos sugieren para la implementación de gestión de conocimiento en una organización. En la TABLA 9 se consolidan estas actividades para cada una de las seis etapas determinadas.

Este mismo ejercicio se desarrolló en el caso de las prácticas de gestión humana y de manejo de riesgo psicosocial. La consolidación de las actividades y prácticas planteadas en los artículos se presenta en la TABLA 10. Con toda esta información recopilada se construyó la propuesta que se presenta en la siguiente sección.

Propuesta para la gestión del conocimiento en los procesos de gestión humana de un centro de investigaciones

Tabla 8. Etapas de gestión del conocimiento según revisión de artículos

Lytras et al. (2002)	Abou-Zeid (2002)	Ansuattigui et al. (2013)	Tarí y García (2009)	García (2016)
Relacionar el valor	Identificación del conocimiento	Identificar		
Adquirir	Generación de conocimiento	Crear	Creación (aprendizaje organizativo)	
Organizar	Elaboración del conocimiento			
Habilitar la reutilización	Conservación del conocimiento	Almacenar	Transferencia y almacenamiento (conocimiento organizativo)	
Transferencia	Movilización de conocimiento	Compartir	Transferencia y almacenamiento (conocimiento organizativo)	
Uso	Presentación de conocimiento Evaluación del conocimiento	Usar	Aplicación y uso (organización de aprendizaje) Empoderamiento	

Tabla 9. Consolidación de actividades según las prácticas de gestión del conocimiento incluidas en los artículos revisados / etapa de la gestión del conocimiento

Etapa	Consolidado
Identificar	<p>Determinar la brecha de conocimiento al comparar las necesidades de conocimiento con el conocimiento existente.</p> <p>Identificar la forma y la convertibilidad del conocimiento requerido.</p> <p>Identificar las posibles fuentes internas y externas del conocimiento requerido y realizar escaneos sobre tendencias en las líneas de investigación.</p> <p>Establecer redes con otros grupos de investigación.</p> <p>Definir estrategias de búsqueda</p> <p>Realizar encuestas de satisfacción de personal y de clientes para mejorar los servicios y productos internos y externos.</p> <p>Asistir a foros y reuniones.</p> <p>Implementar un buzón de sugerencias.</p>
Crear	<p>El nuevo conocimiento se adquiere de fuentes externas.</p> <p>El conocimiento tácito convertible de los miembros de la organización se conceptualiza, articula y exterioriza.</p> <p>Descubrir el conocimiento en las fuentes de datos de la organización (e.g., bases y almacenes de datos).</p> <p>Integrar el conocimiento recién generado y validado con el conocimiento existente o combinar el conocimiento existente.</p>

Tabla 9. Consolidación de actividades según las prácticas de gestión del conocimiento incluidas en los artículos revisados / etapa de la gestión del conocimiento (continuación)

Etapa	Consolidado
Crear	<p>El nuevo conocimiento se produce al interactuar con las cosas en los dominios cognitivos de la empresa.</p> <p>Reunión periódica de investigadores y pasantes</p> <p>Formas de organización para la creación de conocimiento</p>
Organizar	<p>Prueba, etiquetado, indexación, resumen, reestructuración y actualización del conocimiento explícito existente.</p> <p>Taxonomía o sistemas de clasificación.</p> <p>Evaluación de desempeño y análisis de puestos de trabajo.</p>
Conservar	<p>Formalizar, codificar, organizar y almacenar en diferentes medios.</p> <p>Repositorio de buenas prácticas y de lecciones aprendidas.</p> <p>Sistemas de información digital.</p> <p>Procedimientos, memoria de proyectos y documentos.</p> <p>Entrenamiento, tutoría o aprendizaje.</p> <p>Relevo generacional.</p> <p>Utilizar sistemas de información digital y herramientas como la intranet y bases de datos.</p> <p>El responsable de almacenar el conocimiento es el jefe de área, ello facilita realizar modificaciones en sus procesos para poder adaptarlos a las necesidades de la empresa ante cambios en el mercado.</p>
Transferir	<p>Consulta de expertos en un determinado dominio, redes de colaboración.</p> <p>Repositorio de buenas prácticas, de lecciones aprendidas y catálogo de experiencias (diferentes aspectos vividos por miembros de la empresa).</p> <p>Benchmarking interno.</p> <p>Mentoring (investigador principal desarrolla capacidades investigativas a largo plazo en pasantes de investigación).</p> <p>Utilización de herramientas formales de comunicación que permiten a los trabajadores saber qué, cómo y cuándo realizar sus tareas, lo que les facilita un mayor entendimiento de los objetivos organizacionales.</p> <p>Levantamiento de protocolos de actuación.</p> <p>Reuniones con los empleados de distintos proyectos y áreas, espacios para reuniones virtuales o presenciales, círculos de creatividad e innovación.</p> <p>Formación de empleados, capacitación, socialización, tutoría y aprendizaje.</p>
Usar	<p>Desarrollar las capacidades para presentar conocimiento explícito con suficiente flexibilidad para hacerlo significativo y aplicable en múltiples contextos de uso.</p> <p>Tener en cuenta las intencionalidades del uso.</p> <p>Trabajo en equipo con un entorno que permita desarrollar ideas innovadoras.</p>

Propuesta para la gestión del conocimiento en los procesos de gestión humana de un centro de investigaciones

Tabla 10. Consolidación de actividades y practicas: gestión humana y manejo de riesgo psicosocial

Función	Actividades y prácticas
Integrar a las personas	<p>Cuanto más idiomas hable el personal, mayor será su capacidad de adquirir conocimiento de los clientes y de los mercados. El departamento de recursos humanos, a través de su rol en la contratación podría ayudar a seleccionar personal con antecedentes culturales y lingüísticos apropiados para apoyar las actividades de gestión del conocimiento.</p> <p>Preferir el reclutamiento interno como una forma de preservar personas valiosas y motivarlos a desarrollar su carrera profesional en la empresa, combinado con el reclutamiento de estudiantes con potencial, con el objetivo de incorporar nuevas competencias o procesar algunos cambios necesarios.</p>
Organizar a las personas	<p>Selección de personal con el perfil psicológico requerido para el trabajo específico.</p> <p>Hacer que el conocimiento importante sea visible, por ejemplo crear y hacer rutas explícitas a los expertos y la sabiduría importante dentro de la empresa.</p> <p>Centrarse solo en lo que la empresa necesita saber, es decir, enfocar el conocimiento.</p> <p>Dejar en claro a los empleados que el intercambio de conocimiento es un valor central para la empresa, es decir, convertirse en una cultura del conocimiento.</p> <p>Intervenir el diseño de la organización: contenido de la tarea, carga de trabajo, control y autonomía, clarificación de competencias, organigramas con niveles no demasiado jerárquicos, diseño en forma de equipos celulares de producción y círculos de calidad.</p> <p>Matriz detallada de comunicación interna: modos, frecuencias, emisores, receptores y responsables.</p> <p>Sistemas estandarizados que permitan recibir, enviar, derivar y responder preguntas y promover la existencia de comunidades de práctica, círculos y reuniones generales para analizar casos y consultas.</p> <p>Adoptar parcial o completamente un enfoque de gestión de competencias; utilizar herramientas para identificar y describir las competencias, la evaluación del desempeño por competencias, el mantenimiento de las competencias y el uso de mapas de ruta para etiquetar las competencias requeridas.</p> <p>Polifuncionalidad, configurar los sistemas de rotación de trabajos como un plan preestablecido, donde después de cada rotación la persona hace sugerencias; diseño de matrices de polifuncionalidad, donde la mayoría del personal está capacitado para realizar otros trabajos cotidianos además del suyo.</p> <p>Clarificación de roles para evitar conflictos y ambigüedad.</p> <p>Tolerancia cero a situaciones relacionadas con acoso laboral o sexual y con abusos de parte de clientes/pacientes.</p> <p>Políticas de comunicación abierta con empleados sin temor a castigos y manejo de la discreción.</p> <p>Establecimiento de códigos de conducta institucional y levantamiento de protocolos y documentos para la prevención y manejo de riesgos.</p>
Recompensar a las personas	<p>Recompensar el intercambio de experiencia e inteligencia, es decir, convertirse en conocimiento ejemplificado.</p>

Tabla 10. Consolidación de actividades y practicas... (continuación)

Función	Actividades y prácticas
Remunerar a las personas	<p>Salario y beneficios, los sueldos tienen componentes variables dependiendo de los resultados comerciales o de la competencia lograda.</p> <p>Motivación intrínseca, reconocimiento directo y verbal, escribir felicitaciones en la revista corporativa, reconocimiento formal de los compañeros de trabajo, dándoles la oportunidad de ser instructores o la posibilidad de alcanzar sus metas personales.</p> <p>Estímulos a la comunicación de casos de riesgo psicosocial.</p>
Desarrollar a las personas	<p>Confianza entre los empleados de la empresa, el departamento de recursos humanos podría desempeñar un papel en la creación de confianza entre el personal para que pueda compartir el conocimiento.</p> <p>El departamento de recursos humanos podría ayudar a crear un ambiente de aprendizaje lejos del miedo al castigo y a las sanciones.</p> <p>El crecimiento y desarrollo de las personas es un fin en sí mismo, los propósitos de desarrollo están alineados con los objetivos de la organización y existe un plan de capacitación anual para cada empleado, educación permanente y actualización diaria de las rutinas de trabajo de TI.</p> <p>Los cursos de capacitación tradicionales se complementan con la circulación de conocimiento dentro de la organización mediante la capacitación en modo “cascada” o la elaboración de un manual de gestión del conocimiento; el personal que realiza un curso fuera de la empresa, lo transmite por capacitación interna o prepara informes e implementa cambios que muestran evidencia.</p> <p>Aprender de los éxitos y fracasos (manejo de errores), esto incluye la capacidad efectiva de reconocer errores, aprender de ellos y buscar una solución rápida.</p> <p>Principio de que no hay mejor forma de aprender que tratar de enseñar, este papel de la gestión educativa está integrado en la actividad y forma parte del trabajo.</p> <p>Programas de educación y entrenamiento a empleados y supervisores sobre los riesgos psicosociales y situaciones de acoso laboral y sexual, igualdad y no discriminación.</p> <p>Formación de directivos y jefes en estilos de liderazgo, manejo de conflictos y habilidades de comunicación; y formación del personal en manejo de conflictos y habilidades de comunicación.</p>
Retener a las personas	<p>Ir más allá de la empresa para aprovechar el conocimiento de los clientes, proveedores y competidores, es decir, convertirse en un buscador de conocimiento.</p> <p>El diseño de los espacios (diseño de la oficina) es importante para fomentar el intercambio de ideas y el intercambio de conocimientos; realizar intervención sobre características físicas y ambientales del trabajo.</p> <p>El departamento de recursos humanos, a través de su rol de desarrollo del personal, podría ayudar el desarrollo de habilidades lingüísticas apropiadas para apoyar las actividades de gestión del conocimiento.</p> <p>Sistemas de información para oficinas, herramientas de colaboración, herramientas de recuperación y navegación y sistemas basados en el conocimiento</p> <p>Reuniones sociales del personal, el departamento de recursos humanos podría facilitar reuniones de personal para apoyar las actividades de gestión del conocimiento.</p>

Propuesta para la gestión del conocimiento en los procesos de gestión humana de un centro de investigaciones

Tabla 10. Consolidación de actividades y practicas: gestión humana y manejo de riesgo psicosocial (continuación)

Función	Actividades y prácticas
Retener a las personas	<p>Accesibilidad, uso gratuito de Internet, cada compañero tiene llaves de la puerta de la compañía poder ingresar y salir en cualquier momento y autoservicio en todos los suministros en existencia.</p> <p>Equilibrio entre la vida laboral y familiar, ayudar a los programas al personal y a la familia en tiempos difíciles, talleres sobre la vida familiar / laboral limitación del tiempo extra en el trabajo y ayuda a la educación de hijos de personal.</p> <p>Búsqueda constante de las mejores herramientas tecnológicas disponibles en el mercado y procesos de actualización continua según la vida útil de la infraestructura de TI.</p> <p>Compartir, mencionar, analizar (resultados, expectativas y necesidades), discutir, sugerir y proponer, son algunos de los verbos utilizados para describir la actividad en el trabajo diario.</p> <p>Todos conocen los resultados financieros anuales y el salario de todos, esta actividad mejora la confianza.</p> <p>Programas de bienestar: ejercicio físico, técnicas de relajación, fomento de apoyo social (compañeros y jefes) y atención psicológica individualizada.</p> <p>Desarrollo de canales de comunicación efectivos y reducción de la ambigüedad, comunicación adecuada con los empleados en casos de crisis o despidos.</p> <p>Proveer un ambiente estimulante y de apoyo a los trabajadores, con liderazgo justo y ambiente social positivo.</p> <p>Guarderías en los centros de trabajo o asistencia al cuidado de mayores.</p> <p>Flexibilidad en los horarios como jornada reducida, introducción del trabajo acumulado flexible [working-time accounts] que permite la acumulación de horas para posteriormente disfrutar de más tiempo libre, cuando se necesite, y distribución flexible de las vacaciones.</p> <p>Flexibilidad en cuanto al lugar de trabajo, facilitando el trabajo en el domicilio o teletrabajo cuando sea posible.</p>
Verificación y seguimiento	<p>Medir los resultados de la implementación del programa de gestión del conocimiento, es decir, convertirse en un evaluador de conocimiento.</p> <p>Evaluación de rendimiento incluyendo: el nivel de desarrollo potencial de las personas; el logro de los objetivos personales y organizacionales; el conocimiento sobre los productos y el respeto por el tiempo del cliente. Métodos de evaluación del rendimiento: autoevaluación; evaluación de pares, supervisores y subordinados; y opinión de los clientes interno y externo.</p> <p>La participación se mide a lo largo de la cantidad de equipos de trabajo activos, el número o personas en equipos de trabajo, la frecuencia de reuniones y la participación del personal, las reuniones y el nivel de conocimiento en varias ocupaciones.</p> <p>Los resultados de la aplicación del sistema de motivación e incentivos se miden permanentemente, mediante una encuesta interna sobre el clima en el trabajo y la satisfacción de las personas con sus trabajos.</p>

Tabla 10. Consolidación de actividades y practicas: gestión humana y manejo de riesgo psicosocial (continuación)

Función	Actividades y prácticas
Verificación y seguimiento	<p>Toma de decisiones en la primera línea de contacto con los clientes; autocontrol en el área de trabajo; agenda hecha a la medida y organización de deberes según el cumplimiento de objetivos; responsabilidad por actividades propias; rendimiento medido con autoevaluación; sin control de ausentismo; jefes como responsables de controlar el logro de los objetivos.</p>
Generales	<p>Responsabilidad de las personas en su propia sustitución temporal, cada persona tiene la obligación de preparar quién es capaz de hacer su trabajo durante su ausencia.</p> <p>Sistemas de recogida de información adecuados.</p> <p>Ajustar los niveles de compromiso de los trabajadores y fomentar el planteamiento de objetivos realistas, la dirección debe tener en cuenta las expectativas irreales que se pueden tener sobre un profesional.</p> <p>Una organización necesita conocer su punto de partida para evaluar los beneficios de los planes que desarrolla, el cual puede ser analizado por diferentes medios: análisis de informes organizacionales, registros, estadísticas y documentos, entrevistas con personas clave o cuestionarios.</p> <p>Un buen análisis de riesgos y un enfoque gradual son factores determinantes para desarrollar soluciones adecuadas a los problemas o a las visiones en el alcance.</p> <p>Es importante distinguir entre las condiciones de trabajo inevitables y las que pueden ser cambiadas y así no desperdiciar energía en lo inalterable.</p> <p>Para garantizar la propiedad de una intervención, la participación y el compromiso de los empleados y sus representantes, la gerencia media y la alta gerencia es crucial en cada etapa del proceso; la gerencia debe aceptar la responsabilidad y los empleados deben estar incluidos en todas las etapas de evaluación, toma de decisiones e implementación.</p> <p>No es posible realizar cambios organizativos mayores a menos que la administración esté lista para realizarlos y, al menos en cierta medida, realizar algunas inversiones en mejoras en el lugar de trabajo.</p> <p>Una condición previa para una intervención exitosa de prevención del estrés es tener objetivos claramente definidos y grupos objetivo, tareas apropiadamente delegadas y responsabilidades, planificación adecuada, recursos financieros y medios de acción.</p> <p>Se debe dar prioridad a la prevención organizacional y colectiva.</p> <p>Para mantener el apoyo y la participación es crucial informar a los empleados, tan pronto como sea posible, sobre los resultados de una encuesta o evaluación de entorno de trabajo y sobre actividades planificadas, entrevistas u otras formas de análisis de problemas que se llevarán a cabo.</p> <p>Una organización nunca debe comenzar una encuesta sobre el entorno de trabajo a menos que haya una clara intención de tomar medidas si así lo indican los resultados.</p> <p>Deben desarrollarse soluciones sostenibles, en el contexto específico del lugar de trabajo, con el uso de recursos locales, esto no implica que no deba involucrarse la experiencia externa.</p>

ESTRATEGIA PROPUESTA

Para la construcción de la estrategia propuesta (TABLA 11) se tuvo en cuenta el diagnóstico realizado a través de la revisión documental y los aspectos de gestión del conocimiento que fueron identificados en las entrevistas y en la revisión de la información de la organización. La estrategia presenta la clasificación de los componentes según las etapas de Gestión del Conocimiento [GC] y las etapas de Gestión Humana [GH] y Riesgo Psicosocial [RP], lo que permitirá identificar su impacto en los factores presentados en el planteamiento del problema, adicionalmente fue enmarcada en el ciclo Planear, Hacer, Verificar y Actuar [PHVA], de modo que pueda constituirse como una herramienta de mejoramiento continuo para la organización y contribuya a la optimización del proceso de gestión humana y con ello a la optimización de otros procesos de la organización.

Tabla 11. Estrategia propuesta para la gestión del conocimiento en los procesos de gestión humana

PHVA	Etapas GC	Aspectos GH y RP	Actividades por realizar/ practicas para aplicar en los procesos gestión humana y manejo de riesgo psicosocial
P	-	Previo	Establecimiento del compromiso de la dirección con la implementación de las actividades y practicas identificadas.
P	-	Previo	Conformación del equipo de trabajo encargado de la aplicación de las prácticas.
P	-	Previo	Identificación de principales involucrados
P	Identificar Organizar	Previo	Determinación de la brecha de conocimiento comparando las necesidades de conocimiento y el conocimiento existente: proyecto de grado, herramienta con semáforo para revisión y actualización de documentos existentes por unidad.
P	Organizar Crear	Integrar a las personas	Actualización de las políticas y documentación de selección de personal incluyendo integrar al proceso de selección y evaluación de desempeño el nivel de inglés y otros idiomas.
P	Organizar Crear	Integrar a las personas	Actualización de las políticas y documentación de selección de personal, incluyendo la evaluación del perfil psicológico para todo el personal nuevo.
P	Organizar Crear	Integrar a las personas	Actualización de las políticas y documentación de selección de personal, incluyendo la integración al proceso de selección, convocatorias internas previo a las convocatorias externas.
	Identificar	Organizar a las personas	Identificar las posibles fuentes externas del conocimiento relativo a gestión humana en centros de investigación.

Tabla 11. Estrategia propuesta para la gestión del conocimiento en los procesos de gestión humana (continuación)

PHVA	Etapas GC	Aspectos GH y RP	Actividades por realizar/ practicas para aplicar en los procesos gestión humana y manejo de riesgo psicosocial
P	Identificar	Organizar a las personas	Incluir en las políticas de la organización y el código de conducta: el intercambio de conocimiento como un valor central; la tolerancia cero en situaciones de acoso (laboral o sexual) y abusos de parte de clientes/pacientes.
P	Organizar Conservar	Organizar a las personas	Revisión y ajuste del diseño organizacional teniendo en cuenta aspectos de: gestión del conocimiento, manejo y conservación de la información y documentación.
P	Crear Organizar Transferir	Organizar a las personas	Para el personal administrativo: diseño de matrices de polifuncionalidad, en donde la mayoría del personal está capacitado para realizar trabajos cotidianos adicionales al suyo, a través de la rotación como un plan preestablecido, donde después de cada rotación, la persona hace sugerencias.
P	Identificar Crear	Organizar a las personas	Levantamiento de descripciones de perfil por competencias.
P	Conservar	Organizar a las personas	Levantamiento de protocolos y documentos para la prevención y el manejo de riesgos psicosociales.
P	Transferir	Recompensar a las personas	Diseño de un esquema de recompensas que incluya factores como: el intercambio de experiencia y conocimiento y el desempeño en el manejo de otros idiomas.
P	Transferir Conservar	Desarrollar a las personas	Alinear los propósitos de desarrollo del personal con los objetivos de la organización y establecer un plan de capacitación para cada empleado que incluya lo relativo a herramientas de TI.
P	Identificar	Verificación y seguimiento	Ajustar los niveles de compromiso de los trabajadores y fomentar el planteamiento de objetivos realistas. La dirección debe tener en cuenta las expectativas irreales que se pueden tener sobre un profesional.
H	Identificar Crear	Integrar a las personas	Identificación, desde la selección al personal clave que propicie la consolidación de redes de colaboración, proyectos y oportunidades de intercambio de conocimiento.
H	Organizar	Organizar a las personas	Hacer que el conocimiento importante sea visible, establecer quién posee qué tipo de conocimiento en la organización (para todos los cargos).
H	Transferir	Organizar a las personas	Comunicación con los empleados que incluya: la planeación estratégica de la organización, los objetivos y metas de cada unidad y los resultados y tiempos esperados para cada cargo.
H	Transferir Usar	Recompensar a las personas	Motivación intrínseca a través de reconocimiento directo y verbal, en el caso de instructores, integrantes de comités, equipos de trabajo para resolver situaciones específicas y participantes en actividades de identificación y prevención de riesgos psicosociales.

Propuesta para la gestión del conocimiento en los procesos de gestión humana de un centro de investigaciones

Tabla 11. Estrategia propuesta para la gestión del conocimiento en los procesos de gestión humana (continuación)

PHVA	Etapa GC	Aspectos GH y RP	Actividades por realizar/ practicas para aplicar en los procesos gestión humana y manejo de riesgo psicosocial
H	Conservar	Desarrollar a las personas	Formación de directivos y jefes en estilos de liderazgo y formación de todo el personal en manejo de conflictos y errores y habilidades de comunicación.
H	Conservar	Desarrollar a las personas	Programas de educación y entrenamiento a empleados y supervisores sobre riesgos psicosociales y situaciones de acoso laboral y sexual, igualdad y no discriminación.
H	Crear	Retener a las personas	Mejora de los espacios de trabajo mediante intervención de características físicas y ambientales (distribución adecuada de puestos de trabajo, mejor dotación de salas de reuniones y espacios comunes).
H	Conservar	Retener a las personas	Diseñar una propuesta para el desarrollo de habilidades lingüísticas apropiadas del personal, que permita apoyar las actividades de gestión del conocimiento de la organización.
H	Transferir	Retener a las personas	Que la dirección comparta a final o inicio de año las cifras más destacadas de la operación de la organización, haciendo partícipes a los colaboradores de los éxitos y oportunidades de mejora.
H	Transferir	Retener a las personas	Proporcionar a los colaboradores más información y apoyo para la asistencia a programas de bienestar a través de convenios: ejercicio físico, técnicas de relajación, atención psicológica individualizada.
H	Transferir	Retener a las personas	Destacar los beneficios que ofrece el Centro a sus empleados (e.g., horarios flexibles, distribución flexible de las vacaciones).
H	Conservar	Retener a las personas	Trabajo conjunto con el comité de TI para establecer las herramientas tecnológicas que faciliten la búsqueda, identificación, almacenamiento y recuperación de la información en el proceso de gestión humana, y para facilitar la aceptación de los cambios tecnológicos en otros procesos.
H	Usar	Verificación y seguimiento	Responsabilidad de las personas en su propia sustitución temporal: cada una tiene la obligación de preparar a quien será capaz de hacer su trabajo durante su ausencia.
H	Conservar	Verificación y seguimiento	Repositorio de buenas prácticas y lecciones aprendidas de gestión humana.
H	Conservar	Verificación y seguimiento	Sistemas de recogida de información adecuados.
V	Usar	Verificación y seguimiento	Establecer indicadores para medir los resultados de la implementación de las actividades y prácticas de gestión del conocimiento.
V	Usar	Verificación y seguimiento	Diseño y aplicación de la evaluación de desempeño incluyendo aspectos como el logro de objetivos personales y organizacionales y el conocimiento de procesos.

Tabla 11. Estrategia propuesta para la gestión del conocimiento en los procesos de gestión humana (continuación)

PHVA	Etapa GC	Aspecto GH y RP	Actividades por realizar/ practicas para aplicar en los procesos gestión humana y manejo de riesgo psicosocial
V	Usar	Verificación y seguimiento	La participación se mide a lo largo de: la cantidad de equipos de trabajo activos; el número de personas en los equipos de trabajo; la frecuencia de reuniones y la participación del personal en las reuniones; y el nivel de conocimiento en varias ocupaciones.
V	Usar	Verificación y seguimiento	Los resultados de la aplicación del sistema de motivación e incentivos se miden permanentemente mediante una encuesta interna sobre el clima en el trabajo y la satisfacción de las personas con sus trabajos.
V	Usar	Verificación y seguimiento	Toma de decisiones en la primera línea de contacto con los clientes; autocontrol en el área de trabajo; agenda hecha a la medida y organización de deberes según el cumplimiento de objetivos. Responsabilidad por actividades propias: rendimiento medido con autoevaluación, sin control de ausentismo y con los jefes como responsables de controlar el logro de los objetivos.
A	Usar	Retener a las personas	Plantear acciones correctivas y de mejora que permitan consolidar la gestión del conocimiento en la organización, de acuerdo con los resultados de los indicadores y las evaluaciones
A	Crear	Retener a las personas	Estandarizar las practicas exitosas en la organización

Con el fin de determinar si la estrategia propuesta es válida para el contexto de un centro de investigación se realizó su validación a partir del juicio de un grupo de expertos. Para se realización se tuvieron en cuenta las categorías: claridad, coherencia y relevancia (Escobar & Cuervo, 2008), como se aprecia en la TABLA 12.

La encuesta aplicada puede ser consultada en Montero (2018, Anexo 7). La calificación dada por los expertos a las preguntas incluidas en ella dependía de su nivel de acuerdo con lo afirmado: totalmente en desacuerdo [1], en desacuerdo [2], ni de acuerdo ni en desacuerdo [3], de acuerdo [4] y totalmente de acuerdo [5]. Los expertos podían además realizar comentarios que permitieran mejorar la claridad, coherencia o relevancia de cada componente de la estrategia. Después de recibir todas las respuestas, se atendieron las observaciones recibidas.

Teniendo en cuenta que la propuesta se realiza en el ámbito de tres aspectos fundamentales (gestión del conocimiento, gestión humana y gestión de calidad)

Propuesta para la gestión del conocimiento en los procesos de gestión humana de un centro de investigaciones

Tabla 12. Categorías incluidas en la herramienta de validación (Escobar & Cuervo, 2008)

Categorías	Concepto	Indicadores
Claridad	El ítem se comprende fácilmente, es decir, su sintáctica y semántica son adecuadas	El ítem no es claro
		El ítem requiere muchas modificaciones o una modificación muy grande en el uso de las palabras de acuerdo con su significado o por la ordenación de estas
		Se requiere una modificación muy específica de algunos de los términos del ítem
Coherencia	El ítem tiene relación lógica con la dimensión o indicador que está midiendo	El ítem es claro, tiene semántica y sintaxis adecuada
		El ítem no tiene relación lógica con la dimensión
		El ítem tiene una relación tangencial con la dimensión
		El ítem tiene una relación moderada con la dimensión que está midiendo
Relevancia	El ítem es esencial o importante, es decir, debe ser incluido	El ítem se encuentra completamente relacionado con la dimensión que está midiendo
		El ítem puede ser eliminado sin que se vea afectada la medición de la dimensión
		El ítem tiene alguna relevancia, pero otro ítem puede estar incluyendo lo que mide este
		El ítem es relativamente importante
		El ítem es muy relevante y debe ser incluido

y que el caso de aplicación se enmarca en un centro de investigación, se tuvieron en cuenta los siguientes criterios para la selección de los expertos: formación académica, experiencia, reconocimiento en los ámbitos del proyecto y disponibilidad y motivación para participar. Para su selección, se realizó una invitación por medio de un correo electrónico en el que se especificaba el objetivo de la validación y se anexaba el documento con el resumen y objetivos del proyecto a validar. Esta invitación fue realizada a cuatro expertos externos y tres expertos internos y fue respondida por seis de ellos (tres y tres).

Las respuestas recibidas para las encuestas fueron tabuladas y organizadas, sus resultados se presentan en la TABLA 13. Con base en ellos se puede afirmar que: los componentes planteados son importantes para el contexto y deben ser incluidos; los componentes son fácilmente comprensibles; los componentes tienen relación con las etapas o aspectos asociados de gestión humana, riesgo psicosocial, gestión del conocimiento y ciclo PHVA.

Tabla 13. Resultados generales de la encuesta

El componente...	Media	Mediana	Moda	Variación
Es esencial o importante para el contexto del problema identificado, debe ser incluido	4,4	5	5	1,1
Se comprende fácilmente.	4,6	5	5	0,7
Tiene relación lógica con el aspecto de GH o RP identificado	4,6	5	5	0,6
Tiene relación lógica con la etapa de GC presentada	4,4	5	5	1,1
Tiene relación lógica con la etapa del ciclo PHVA asociada	4,5	5	5	0,7

Para algunos de los componentes se presentaron observaciones y dudas, estos casos se trataron individualmente de modo que se tuvieran en cuenta las consideraciones realizadas. En la TABLA 14 se muestra la estrategia final, en ella, para facilitar la comparación con la propuesta inicial, los once apartados en los que se presentaron cambios aparecen sombreados.

Estos treinta y seis componentes constituyen la estrategia planteada para que el Centro cuente con prácticas de gestión humana y de gestión del riesgo psicosocial que fortalezcan la gestión de calidad, a través de la gestión del conocimiento.

Tabla 14. Estrategia final propuesta para la gestión del conocimiento en los procesos de gestión humana

PHVA	Etapa GC	Aspectos GH y RP	Actividades por realizar/ practicas para aplicar en los procesos gestión humana y manejo de riesgo psicosocial
P	-	Previo	Establecimiento del compromiso de la dirección con la implementación de las actividades y practicas identificadas.
P	-	Previo	Conformación del equipo de trabajo encargado de la aplicación de las prácticas.
P	-	Previo	Identificación de principales involucrados
P	Identificar Organizar	Previo	Determinación de la brecha de conocimiento comparando las necesidades de conocimiento y el conocimiento existente: proyecto de grado, herramienta con semáforo para revisión y actualización de documentos existentes por unidad.
P	Organizar Crear	Integrar a las personas	Actualización de las políticas y documentación de selección de personal incluyendo: integrar al proceso de selección y evaluación de desempeño el nivel de inglés y de otros idiomas; evaluar el perfil psicológico para todo el personal nuevo; e integrar al proceso de selección convocatorias internas previo a las convocatorias externas.

Propuesta para la gestión del conocimiento en los procesos de gestión humana de un centro de investigaciones

Tabla 14. Estrategia final propuesta para la gestión del conocimiento en los procesos de gestión humana (continuación)

PHVA	Etapa GC	Aspectos GH y RP	Actividades por realizar/ practicas para aplicar en los procesos de gestión humana y manejo de riesgo psicosocial
P	Identificar	Organizar a las personas	Identificar las posibles fuentes externas del conocimiento relativo a gestión humana en centros de investigación.
P	Identificar	Organizar a las personas	Incluir en las políticas de la organización y el código de conducta: el intercambio de conocimiento como un valor central; la posición institucional en situaciones relacionadas con acoso (laboral o sexual) y abusos de parte de clientes/pacientes.
P	Organizar Conservar	Organizar a las personas	Revisión y ajuste del diseño organizacional teniendo en cuenta aspectos de: gestión del conocimiento, manejo y conservación de la información y documentación.
P	Crear Organizar Transferir	Organizar a las personas	Para el personal administrativo: diseño de matrices de polifuncionalidad, en donde la mayoría del personal está capacitado para realizar trabajos cotidianos adicionales al suyo, a través de la rotación como un plan preestablecido, donde después de cada rotación, la persona hace sugerencias.
P	Identificar Crear	Organizar a las personas	Levantamiento de descripciones de perfil por competencias.
P	Conservar	Organizar a las personas	Levantamiento de protocolos y documentos para la prevención y el manejo de riesgos psicosociales.
P	Organizar	Recompensar a las personas	Diseño de un esquema de recompensas que incluya factores como: el intercambio de experiencia y conocimiento y el desempeño en el manejo de otros idiomas.
P	Transferir Conservar	Desarrollar a las personas	Alinear los propósitos de desarrollo del personal con los objetivos de la organización y establecer un plan de capacitación para cada empleado que incluya lo relativo a herramientas de TI.
P	Identificar	Verificación y seguimiento	Ajustar los niveles de compromiso de los trabajadores y fomentar el planteamiento de objetivos realistas. La dirección debe tener en cuenta las expectativas irreales que se pueden tener sobre un profesional.
H	Identificar Crear	Integrar a las personas	Identificación, desde la selección al personal clave que propicie la consolidación de redes de colaboración, proyectos y oportunidades de intercambio de conocimiento.
H	Organizar	Organizar a las personas	Hacer que el conocimiento importante sea visible, establecer quién posee qué tipo de conocimiento en la organización (para todos los cargos).
H	Transferir	Organizar a las personas	Comunicación con los empleados que incluya: la planeación estratégica de la organización, los objetivos y metas de cada unidad y los resultados y tiempos esperados para cada cargo.
H	Transferir Usar	Recompensar a las personas	Motivación intrínseca a través de reconocimiento directo y verbal, en el caso de instructores, integrantes de comités, equipos de trabajo para resolver situaciones específicas y participantes en actividades de identificación y prevención de riesgos psicosociales.

Tabla 14. Estrategia final propuesta para la gestión del conocimiento en los procesos de gestión humana (continuación)

PHVA	Etapa GC	Aspectos GH y RP	Actividades por realizar/ practicas para aplicar en los procesos gestión humana y manejo de riesgo psicosocial
H	Conservar	Desarrollar a las personas	Formación de directivos y jefes en estilos de liderazgo y formación de todo el personal en manejo de conflictos y errores y habilidades de comunicación.
H	Conservar	Desarrollar a las personas	Programas de educación y entrenamiento a empleados y supervisores sobre riesgos psicosociales y situaciones de acoso laboral y sexual, igualdad y no discriminación.
H	Crear	Retener a las personas	Mejora de los espacios de trabajo mediante intervención de características físicas y ambientales (distribución adecuada de puestos de trabajo, mejor dotación de salas de reuniones y espacios comunes).
H	Conservar	Retener a las personas	Diseñar una propuesta para el desarrollo de habilidades lingüísticas apropiadas del personal, que permita apoyar las actividades de gestión del conocimiento de la organización.
H	Transferir	Retener a las personas	Que la dirección comparta a final o inicio de año las cifras más destacadas de la operación de la organización, haciendo partícipes a los colaboradores de los éxitos y oportunidades de mejora.
H	Transferir	Retener a las personas	Proporcionar a los colaboradores más información y apoyo para la asistencia a programas de bienestar a través de convenios: ejercicio físico, técnicas de relajación, atención psicológica individualizada.
H	Transferir	Retener a las personas	Destacar los beneficios que ofrece el Centro a sus empleados (e.g., horarios flexibles, distribución flexible de las vacaciones).
H	Conservar	Retener a las personas	Trabajo conjunto con el comité de TI para establecer las herramientas tecnológicas que faciliten la búsqueda, identificación, almacenamiento y recuperación de la información en el proceso de gestión humana, y para facilitar la aceptación de los cambios tecnológicos en otros procesos.
H	Usar	Verificación y seguimiento	Responsabilidad de las personas en su propia sustitución temporal: cada una tiene la obligación de preparar a quien será capaz de hacer su trabajo durante su ausencia.
H	Conservar	Verificación y seguimiento	Establecer y desarrollar las actividades y herramientas necesarias para contar con un repositorio de buenas prácticas y lecciones aprendidas de gestión humana.
H	Conservar	Verificación y seguimiento	Establecer y desarrollar las actividades y herramientas necesarias para contar con sistemas de recogida de información adecuados a la dinámica del proceso de gestión humana, de modo que el ingreso, la trazabilidad y el reporte de información sean útiles para la toma de decisiones.
V	Usar	Verificación y seguimiento	Establecer indicadores para medir los resultados de la implementación de las actividades y prácticas de gestión del conocimiento.

Tabla 14. Estrategia final propuesta para la gestión del conocimiento en los procesos de gestión humana (continuación)

PHVA	Etapa GC	Aspecto GH y RP	Actividades por realizar/ practicas para aplicar en los procesos gestión humana y manejo de riesgo psicosocial
V	Usar	Verificación y seguimiento	Diseño y aplicación de una evaluación para el desarrollo de competencias, incluyendo aspectos como el logro de objetivos personales y organizacionales, el conocimiento de procesos y el trabajo colaborativo.
V	Usar	Verificación y seguimiento	Incluir en los indicadores de medición de la estrategia aspectos como: cantidad de equipos de trabajo activos; número de personas en equipos de trabajo; frecuencia de reuniones y participación del personal en ellas; y nivel de conocimiento en varias ocupaciones.
V	Usar	Verificación y seguimiento	Medir permanente los resultados de la aplicación del sistema de motivación mediante una encuesta interna de clima en el trabajo y de satisfacción de las personas con sus trabajos.
V	Usar	Verificación y seguimiento	Medición del rendimiento frente al cumplimiento de los objetivos de la organización teniendo en cuenta que cada colaborador es responsable por sus actividades. Se incluyen factores de autoevaluación, no se mide en términos de ausentismo, los jefes son responsables del controlar el logro de los objetivos.
A	Usar	Retener a las personas	Plantear acciones correctivas y de mejora que permitan consolidar la gestión del conocimiento en la organización, de acuerdo con los resultados de los indicadores, las evaluaciones y las encuestas de clima y satisfacción.
A	Crear	Retener a las personas	Estandarizar las practicas exitosas en la organización

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El inventario de documentación del Centro muestra un número significativamente mayor de documentos sobre gestión de calidad (592), que sobre riesgo psicosocial (108) y gestión humana (109). Este resultado, junto con el análisis de las versiones y fechas realizado, evidencia la necesidad de su revisión y actualización y la de dar prioridad a los de mayor impacto en los componentes del problema.

La información recopilada a través de la revisión documental detallada, las entrevistas a empleados y la revisión de bases de datos del Centro permitió obtener una visión global de sus prácticas de gestión del conocimiento; al comparar este estado frente a lo recopilado en la revisión bibliográfica de mejores prácticas fue posible determinar brechas que fueron abordadas en la

estrategia propuesta. En este sentido, la estrategia propuesta considera desde su construcción los diferentes aspectos que deben ser tenidos en cuenta para que la estrategia se pueda aplicar en el Centro.

El resultado de la validación realizada permite concluir que los componentes planteados para la estrategia son válidos en términos de claridad, coherencia y relevancia, como también lo es la clasificación planteada en cuanto a las etapas y aspectos de gestión del conocimiento, gestión humana y riesgo psicosocial y el ciclo PHVA. Sus resultados para la clasificación de las etapas y aspectos de gestión del conocimiento, gestión humana y riesgo psicosocial permiten además establecer que aplicar la estrategia propuesta tendría un impacto positivo en la resolución de los problemas y situaciones presentados en el planteamiento del problema, y podrían impactar positivamente otros procesos de la organización que se beneficien de la aplicación de prácticas de gestión del conocimiento.

Debido a que durante el desarrollo de este proyecto el Centro sufrió cambios estructurales tanto en su base como en su dirección, se debe verificar que la organización se encuentre comprometida con la aplicación de prácticas de gestión del conocimiento y la destinación de recursos que permitan su implementación.

Aunque la estrategia planteada fue desarrollada desde la información y los requerimientos del área de gestión humana de este centro de investigación, puede ser usada como referencia en otros centros de investigación u organizaciones de naturaleza similar, para lo cual sería recomendable validar sus componentes con sus áreas de gestión humana o gestión del conocimiento.

El alcance de este proyecto fue planteado hasta la definición de la estrategia, por lo que podría desarrollarse un proyecto futuro que permita definir los costos y recursos asociados con su implementación, así como investigaciones relacionadas con el impacto de su aplicación.

REFERENCIAS

- Abou-Zeid, E.-S. (2002). A knowledge management reference model. *Journal of Knowledge Management*, 6(5), 486–499. <https://doi.org/10.1108/13673270210450432>
- Andreu, R. & Sieber, S. (1999). La gestión integral del conocimiento y del aprendizaje. *Economía Industrial*, 326, 63–72.

Propuesta para la gestión del conocimiento en los procesos de gestión humana de un centro de investigaciones

- Ansuattigui, R. V, Caulliraux-Pithon, A. J., & Fernandes, J. L. (2013). Prácticas de gestión del conocimiento en una institución pública de investigación: el caso del centro tecnológico del ejército en Brasil (CTEx). *Información Tecnológica*, 24(5), 51–60. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642013000500007>
- Cabrera, R. J. (2003). *Gestión estratégica de los recursos humanos* (2a ed.). Pearson.
- Castro, C. A., Vélez, M. C., & Castro, J. A. (2011). Clasificación ABC multicriterio: tipos de criterios y efectos en la asignación de pesos. *Iteckne*, 8, 163–170.
- Chamorro, A. (2015). *Gestión del conocimiento en CIDEIM* [Trabajo presentado en la Maestría en Gestión Informática y Telecomunicaciones, Universidad Icesi].
- Chiavenato, I. (2009). *Gestión del talento humano*. Elsevier
- Davenport, T., & Prusak, L. (1998). *Working knowledge: how organizations manage what they know*. Harvard Business Press.
- Departamento Administrativo de Ciencia y Tecnología [Colciencias]. (2017). *Guía técnica de autoevaluación para el reconocimiento de centros de investigación* (Código: M304PR04G03). <https://minciencias.gov.co/sites/default/files/upload/reconocimiento/guia-autoevaluacion-centros-investigacion-act.pdf>
- Dessler, G., & Varela, R. (2011). *Administración de recursos humanos: enfoque latinoamericano*. Pearson.
- Dussault, G., & Dubois, C.-A. (2003). Human resources for health policies: a critical component in health policies. *Human Resources for Health*, 1(1), Art.1. <https://doi.org/10.1186/1478-4491-1-1>
- Escobar, J., & Cuervo, Á. (2008). Validez de contenido y juicio de expertos: una aproximación a su utilización. *Avances en Medición*, 6, 27–36.
- García, M. (2016). Influencia de la gestión de la calidad en los resultados de innovación a través de la gestión del conocimiento: un estudio de casos. *Innovar*, 26(61), 45–63. <https://doi.org/10.15446/innovar.v26n61.57119>
- Gelabert, M. & Aguilera, A. (2012). Contribución de la gestión de recursos humanos a la gestión del conocimiento. *Estudios Gerenciales*, 28(123), 133–148. [https://doi.org/10.1016/S0123-5923\(12\)70209-7](https://doi.org/10.1016/S0123-5923(12)70209-7)
- González, J. J., Rodríguez, M. T., & Rosales, J. A. (2015). Modelamiento del knowledge management por análisis factorial para grupos de investigación universitaria – caso UPTC. *Pensamiento & Gestión*, 38, 208–240.
- González, L. (1999). La dirección de recursos humanos en el horizonte del 2000. *Alta Dirección*, 204, 47–62.
- Harman, C., & Brelade, S. (2000). *FT Management Briefings. Knowledge management and the role of HR: securing competitive advantage in the knowledge economy*. Financial Times & Prentice Hall.
- Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos [Invima]. (2009). *ABC buenas prácticas clínicas*. Invima

- Ley 1562 de 2012 (2012, julio 11). *Diario Oficial de la República de Colombia*, 48488.
- Lytras, M. D., Pouloudi, A., & Poulymenakou, A. (2002). Knowledge management convergence - expanding learning frontiers. *Journal of Knowledge Management*, 6(1), 40–51. <https://doi.org/10.1108/13673270210417682>
- Massolo, L. [Coord.]. (2015). *Introducción a las herramientas de gestión ambiental*. Editorial Universidad Nacional de La Plata.
- Ministerio de Salud y Protección Social [Minsalud]. (2010). *Batería de instrumentos para la evaluación de factores de riesgo psicosocial*. Minsalud.
- Montero, C. (2018). *Propuesta para la gestión del conocimiento en los procesos de gestión humana de un centro de investigación* [tesis de maestría, Universidad Icesi]. Repositorio Icesi. http://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/handle/10906/84785
- Moreno, B. & Baez, . (2010). *Factores y riesgos psicosociales: formas, consecuencias, medidas y buenas prácticas*. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo y Universidad Autónoma de Madrid.
- Nonaka, I., & Takeuchi, H. (1999). *La organización creadora de conocimiento: cómo las compañías japonesas crean la dinámica de la innovación*. Oxford University Press.
- Observatorio de Talento Humano en Salud [OTHS]. (2015). *Serie registros, observatorios, sistemas de seguimiento y salas situacionales en salud. Guía metodológica OTHS*. Ministerio de Salud y Protección Social.
- Oficina Internacional del Trabajo [OIT]. (1986). *Seguridad, higiene y medicina del trabajo No. 56. Factores psicosociales en el trabajo*. OIT
- Organización Internacional de Normalización [ISO]. (2015). *Sistemas de gestión de la calidad — Fundamentos y vocabulario (ISO 9000:2015)*.
- Ramezani, A., Fathain, M., & Tajdin, A. (2013). Investigating critical success factors of knowledge management in research organizations. *Education, Business and Society: Contemporary Middle Eastern Issues*, 6(2), 101–115. <https://doi.org/10.1108/EBS-08-2012-0037>
- Resolución 2003 de 2014, Ministerio de Salud y Protección Social. (2014, mayo 30). *Diario oficial de la República de Colombia*, 49167.
- Resolución 2646 de 2008, Ministerio de Salud y Protección Social. (2008, julio 23). *Diario oficial de la República de Colombia*, 47059.
- Tarí, J. & García, M. (2009). Dimensiones de la gestión del conocimiento y de la gestión de la calidad: una revisión de la literatura. *Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de La Empresa*, 15(3), 135–148. [https://doi.org/10.1016/S1135-2523\(12\)60105-1](https://doi.org/10.1016/S1135-2523(12)60105-1)
- Vergara, E. S. (2010). Gestión de procesos incorporando la gestión del capital intelectual y la gestión del conocimiento: un estudio de aplicación a centros de investigación. *Journal of Business*, 2(1), 106–129.
- Vidal, C. J. (2005). *Fundamentos de gestión de inventarios* (3a ed.). Universidad del Valle.

ANEXO. CUESTIONARIO PARA LAS ENTREVISTAS

COMPARTIR

¿En la empresa hay espacios para compartir informaci6n de trabajo, frecuentemente y sin inconvenientes?

¿En la empresa hay espacios para compartir informaci6n personal, frecuentemente y sin inconvenientes?

¿El Centro informa a sus colaboradores peri6dicamente sobre los avances y situaci6n administrativa?

¿Los sistemas de informaci6n facilitan que los integrantes de la organizaci6n compartan informaci6n entre ellos y con el exterior?

¿Los colaboradores tienen una comprensi6n com6n del 6rea donde trabajan y los temas espec6ficos de su cargo?

¿Por qu6 medios se comunica la direcci6n del Centro con sus integrantes?

¿Existen procedimientos, protocolos o alg6n documento que determine las funciones de cada persona en la organizaci6n?

¿Se comparte informaci6n con los empleados acerca de la prevenci6n, causas, consecuencias y reporte de riesgos psicosociales?

¿Los procesos de la organizaci6n son documentados y peri6dicamente actualizados?

ALMACENAR

¿Cu6ndo un colaborador posee un conocimiento espec6fico, lo comparte con otros o lo deja para s6 mismo?

¿La rotaci6n de personal en el Centro genera p6rdida de conocimiento o habilidades importantes?

¿Existen medios y procedimientos para que los colaboradores puedan aportar ideas a la organizaci6n y se materialicen como conocimiento?

¿Tiene alg6n medio para almacenar las experiencias y conocimientos que han sido generadas por los colaboradores para ser utilizado posteriormente?

¿Se tiene bases de datos de la informaci6n relevante para la organizaci6n y son

revisadas y actualizadas?

¿Se tiene bases de datos o archivos de la información de riesgos psicosociales?

¿cómo se realiza el manejo de la información sensible?

TRANSFERENCIA

¿Tiene algún medio para compartir las mejores prácticas identificadas entre áreas?

¿Existen procedimientos para recibir y aplicar las ideas y propuestas de los colaboradores?

¿Se puede acceder fácilmente a las bases de datos y documentos del Centro?

¿Se ha identificado claramente que conocimiento es el que tiene cada integrante de la organización?

USAR

¿Se realizan reuniones de equipos de trabajo interfuncionales?

¿El Centro normalmente resuelve problemas mediante el trabajo en equipo?

¿Hay un comité o equipo de trabajo conformado para la prevención y manejo de riesgos psicosociales?

¿La organización adopta las recomendaciones de los equipos de trabajo y comités?

¿Los colaboradores participan en la definición de objetivos para el Centro?

¿Los colaboradores tienen autonomía y son responsables de su horario y trabajo?

¿Las sugerencias aportadas por entes reguladores y financiadores se incorporan a la organización?

¿En la organización se ofrecen oportunidades de formación y crecimiento para sus colaboradores?

La preparación de este libro estuvo al cuidado de Claros Editores S.A.S. y finalizó en enero de 2021. En su preparación, realizada desde la Editorial Universidad Icesi, se emplearon los tipos: Baskerville MT Std de 9, 10 y 12 puntos; Book antigua de 8 puntos; Cambria Math de 12 puntos; Gill Sans MT de 8, 9, 10, 14, 19, 26 puntos; y Times New Roman de 10 puntos.

En la colección “Bitácoras de la Maestría” se presentan los resultados de las investigaciones base del desarrollo de tesis meritorias de la Universidad Icesi, en este caso se incluyen tres trabajos provenientes de la Facultad de Ingeniería, específicamente de la Maestría en Ingeniería Industrial. En los dos primeros se presentan aplicaciones prácticas de los conceptos de la industria 4.0, en una industria manufacturera y en un proceso de entrega de productos al consumidor final, respectivamente. El tercero corresponde a una propuesta para mejorar la gestión del conocimiento en un centro de investigación científica.