

Nivel de Alistamiento de las Empresas Logísticas frente a las Tendencias de la Industria 4.0

Readiness Level of Logistics Companies against Industry 4.0 Trends

Nível de preparação das empresas de logística face às tendências da indústria 4.0

David Ovallos Gazabon¹

Recibido: 20/07/2023 Aceptado: 15/11/2023 Publicado: 25/12/2023

Resumen

El artículo introduce un modelo de madurez que permite conocer el nivel de alistamiento de las empresas del sector logístico frente a las tendencias tecnológicas del sector a nivel mundial, especialmente las relacionadas con la industria 4.0 o logística 4.0. Se realiza una revisión de la literatura para identificar los elementos a evaluar y la estructura del modelo, así como un ejercicio de identificación de tendencias tecnológicas haciendo uso de herramientas de big data para análisis de publicaciones científicas y patentes. Adicionalmente se construyó un instrumento que fue aplicado a manera de validación, a un grupo de empresas del sector logístico en la ciudad de Barranquilla. Esta propuesta, fundamentada en una estructura metodológica robusta, busca responder a las crecientes demandas y desafíos del sector en el contexto nacional. Los resultados de esta validación no solo respaldan la solidez del modelo propuesto, sino que también destacan áreas de mejora y potencial adaptabilidad en otros contextos territoriales, abriendo el camino para futuras implementaciones y adaptaciones en diferentes regiones del país.

Palabras clave: Competitividad, Modelo de madurez, Industria 4.0, Logística.

Abstract

The article introduces a maturity model that allows us to know the level of readiness of companies in the logistics sector in the face of technological trends in the sector worldwide, especially those related to industry 4.0 or logistics 4.0. A review of the literature is carried out to identify the elements to be evaluated and the structure of the model, as well as an exercise to identify technological trends using big data tools for analysis of scientific publications and patents. Additionally, an instrument was built that was applied as a validation to a group of companies in the logistics sector in the city of Barranquilla. This proposal, based on a robust methodological structure, seeks to respond to the growing demands and challenges of the sector in the national context. The results of this validation not only support the robustness of the proposed model, but also highlight areas of improvement and potential adaptability in other territorial contexts, paving the way for future implementations and adaptations in different regions of the country.

Keywords: Competitiveness, Maturity model, Industry 4.0, Logistics.

Resumo

¹ Politécnico de la Costa Atlántica. Barranquilla, Colombia. david.ovallosg@pca.edu.co - <https://orcid.org/0000-0003-0836-2287>

O artigo apresenta um modelo de maturidade que permite conhecer o nível de preparação das empresas do setor logístico face às tendências tecnológicas do setor a nível mundial, especialmente aquelas relacionadas com a indústria 4.0 ou logística 4.0. É realizada uma revisão da literatura para identificar os elementos a serem avaliados e a estrutura do modelo, bem como um exercício para identificar tendências tecnológicas utilizando ferramentas de big data para análise de publicações científicas e patentes. Adicionalmente, foi construído um instrumento que foi aplicado como validação a um grupo de empresas do setor logístico da cidade de Barranquilla. Esta proposta, assente numa estrutura metodológica robusta, procura responder às crescentes exigências e desafios do setor no contexto nacional. Os resultados desta validação não só apoiam a robustez do modelo proposto, mas também destacam áreas de melhoria e potencial adaptabilidade noutros contextos territoriais, abrindo caminho para futuras implementações e adaptações em diferentes regiões do país.

Palavras-chave: Competitividade, Modelo de maturidade, Indústria 4.0, Logística.

Introducción

La gestión logística es fundamental para cualquier empresa que desee mantener una ventaja competitiva en el mercado actual. La implementación de tecnologías 4.0 en donde la combinación de equipos asociados entre sí, dando cabida al internet de las cosas aportando significativamente a la eficiencia y reducir costos en la cadena de suministro. En este contexto, se propone el desarrollo enfocado en la logística, es decir logística 4.0 que busca optimizar la gestión logística mediante la implementación de tecnologías de vanguardia y análisis de datos en tiempo real. El trabajo de (David & Mejia, 2022) destaca cómo la aplicación de herramientas como el internet de las cosas, el análisis de big data y la inteligencia artificial están transformando la forma en que las empresas gestionan sus procesos logísticos, desde la gestión de inventarios hasta la entrega de productos.

Se estima identificar las tecnologías 4.0 más adecuadas que permitan una gestión logística óptima y generen un valor agregado en los procesos desarrollados en cada compañía de la ciudad de Barranquilla, si contemplan la implementación de herramientas como inteligencia artificial, blockchain, internet de las cosas, entre otras, que permiten mejorar la eficiencia en la gestión de inventarios, seguimiento de envíos, monitoreo de flotas, experiencias de clientes, interacción de actores directos del proceso, teniendo en cuenta lo indicado por (Llanes & Font, 2023) donde concluyen que los procesos del negocio, por el impacto de las tecnologías disruptivas, se transforman digitalmente en procesos inteligentes flexibles, ágiles y efectivos que propician la recolección, producción y disponibilidad de información automática a diferentes niveles para su procesamiento inteligente con un modo de producción y de interacción novedoso en un entorno híbrido físico digital en donde la arquitectura tecnológica que modela los procesos inteligentes representa la estructura e interacciones entre las capas de los procesos organizacionales, las capacidades técnicas de que estos disponen, los habilitadores digitales y la infraestructura tecnológica para lograr un rendimiento óptimo en la gestión empresarial y la continuidad operativa del negocio.

En Barranquilla para las empresas pymes es primordial tener actualizaciones tecnológicas que abarquen tecnologías 4.0 y estas mitiguen y premien el flujo en sus procesos, la implementación de tecnologías 4.0, (comunicación M2M, aplicación de internet de las cosas, Big Data y analítica) (Alegre, Ariño & Canela, 2017) dicen que “La expresión big data sugiere grandes volúmenes de información, imposibles de procesar por los sistemas habituales de tratamiento de datos” en la gestión logística de las empresas de Barranquilla es fundamental para mejorar la eficiencia y competitividad de las mismas teniendo en cuenta que el uso de la Web proporciona toda esta información.

En la industria 4.0 se añade que todos los sistemas de producción estarán conectados completamente, todos los subsistemas constituyentes, todos los procesos del ciclo de vida global del producto, todos los objetos (tanto internos como externos) que intervengan: diseñadores, los proveedores, la producción, las redes de clientes y los canales de distribución y la logística. La representación de la integración de extremo a extremo de la cadena de valor que va desde la detección del cambio de demandas del gran público a su satisfacción por parte de las fábricas

inteligentes (Llorenç & Guilera, 2019). En contexto la industria 4.0 brinda un sin número de soluciones en cuanto a era digital refiere, en la investigación de todos estos conceptos, situaciones y demás bases de información tomamos lo anunciado por Paksoy, Kochan & Ali (2020) explora la evolución de la logística hacia la logística 4.0, un enfoque en el que la tecnología es el motor de la transformación de la cadena de suministro.

El enfoque integral que busca no solo sondear y obtener una muestra que soporte el uso de tecnologías avanzadas en pymes en la ciudad de Barranquilla, sino que también precisar el talento especializado en la gestión logística con tecnologías 4.0, (Viloria-Vilarete, 2022) Sugieren la relevancia de la integración de internet de las cosas, big data y la logística como potencializador de la competitividad, de la productividad y de la sostenibilidad de las organizaciones las cuales apliquen estos puntos del saber.

Fandiño Isasa & Quiñonez Mosquera (2020) abordan la temática de cómo la investigación universitaria en la región del Caribe colombiano está generando empresas en la industria 4.0, gracias a la aplicación de las tecnologías emergentes y las innovaciones en la gestión empresarial. El artículo presenta una revisión de los casos de éxito de empresas surgidas de proyectos de investigación universitaria en la región, enfocadas en la aplicación de tecnologías 4.0 como el big data, el Internet de las cosas (IoT), la inteligencia artificial, la realidad aumentada, la impresión 3D y la robótica, entre otras. También se discute el papel de la universidad en la generación de empresas innovadoras y el impacto en el desarrollo económico y social de la región.

Además, la investigación en los procesos logísticos que presenta cada campo de acción en el mercado, bien sea organización industrial, comercial o de servicios se estudiaron los siguientes conceptos Funciones logísticas, Stock, canales de distribución, ciclo de vida, planificación y en conclusión el objetivo principal de la logística el cual es satisfacer la demanda en las mejores condiciones (Escudero Serrano, 2019).

Desarrollar un instrumento estructurado a modo de encuesta dirigido a funcionarios de empresas pymes en Barranquilla que nos proporcione toda la data en pleno sobre herramientas tecnológicas abarcando componentes tales como tecnología, automatización, análisis de datos, cultura de innovación, gestión de procesos, gestión organizacional. El sector logístico en Colombia ha experimentado un desarrollo significativo en los últimos 10 años gracias al crecimiento del comercio electrónico y el aumento de las exportaciones. Sin embargo, el país aún continúa enfrentándose a grandes retos que deben ser abordados para mantener su crecimiento y competitividad en el futuro.

La Encuesta Nacional Logística 2020 (ENL) registra el total de empresas activas registradas en el Registro Único Empresarial (RUES) en alguno de los siguientes tipos de organización jurídica y actividades económicas: empresas de comercio, sociedad limitada, sociedad anónima, sociedad colectiva, sociedad en comandita simple, sociedad en comandita por acciones, sociedad extranjera, empresas asociativas de trabajo, empresas unipersonales, sociedad agraria de transformación, otras sociedades, empresas industriales y comerciales del Estado, sociedades por acciones simplificadas, entidades de naturaleza cooperativa, asociaciones agropecuarias y campesinas nacionales y no nacionales. El marco de muestreo contó con 1.260.046 registros de empresas ubicadas en 1.111 municipios en las 14 regiones logísticas del país, establecidas en la ENL de 2018.

Se consideran las siguientes actividades económicas agropecuario, comercio, construcción, industria, minería, transporte y almacenamiento, tamaños de empresa grande, mediana, pequeña y micro. Ver distribución en figura 1.

PSL POR SECTORES DE OPERACIÓN LOGÍSTICA

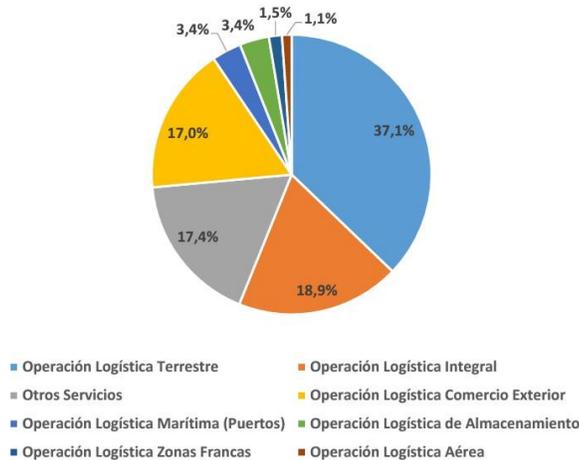


Figura 1. Prestadores de servicios logísticos

Entre los grandes retos que tiene Colombia está el mejorar los atrasos en la eficiencia de la operación aduanera y las afectaciones en los procesos logísticos lo que ha ocasionado que el país perdiera 8 lugares en el ranking del Informe del Índice de Desempeño Logístico (LPI, por sus siglas en inglés), publicado por el Banco Mundial, pasando del puesto 58 entre 160 países en el 2018 al puesto 66 de 139 naciones participantes en el 2023, con un puntaje de 2.9/5.0, perdiendo 0.04 puntos en comparación al reporte pasado donde obtuvo 2.94/5.0, con resultados negativos en los indicadores de envíos internacionales, aduanas, seguimiento y localización y competencia logística y calidad.

El sector logístico colombiano debe ofrecer servicios cada vez más cualitativos y específicos que contengan herramientas tecnológicas y de inteligencia artificial adaptadas a las necesidades de cada cliente. Según el Departamento Nacional de Planeación (DNP), una empresa en Colombia destina aproximadamente el 13,5% de sus ingresos a los costos logísticos, específicamente en la implementación de plataformas innovadoras que faciliten y optimicen las operaciones y sean eficientes en el cuidado del medio ambiente.

Del mismo modo, las empresas se están adaptando a las necesidades y demandas del sector; de esta manera, buscan generar oportunidades operacionales estratégicas que les permita llegar lo más rápido posible al consumidor y, que estén a la vanguardia de las tendencias en la industria de la logística para el 2023 que incluye:

- **Uso de tecnología:** la tecnología es uno de los grandes retos que tienen las empresas en Colombia. La logística empresarial debe contar con herramientas basadas en inteligencia artificial, GPS, entre otros, que suplan las necesidades de los clientes, generen beneficios, sean eficientes, optimicen los procesos y mejoren la propuesta de valor del sector (Mageto, 2022; Wang & Sarkis, 2021).
- **Logística Sostenible:** para reducir la huella de carbono mediante la disminución de emisiones de gases, se propone implementar en la cadena de suministro vehículos que cumplan con los esquemas de sostenibilidad ambiental global. Así mismo, las empresas deben plantear proyectos que contribuyan a la conservación de ecosistemas con iniciativas como la siembra de árboles, implementación de reciclaje y utilización de energías renovables en los diferentes procesos logísticos (Björklund & Piecyk-Ouellet, 2021; Perkumiene et al., 2020).
- **Costos elevados:** es importante que las empresas en Colombia mantengan la eficiencia en los costos, sin comprometer la calidad de los servicios que ofrece. Debe afrontar los desafíos económicos que tiene el país, como lo son el alto costo de los combustibles, la energía y la mano de obra. A raíz de la pandemia, el gasto de los consumidores en bienes se disparó y la capacidad de transporte disminuyó, generando presiones en los márgenes de ganancia de las empresas logísticas (Jimenez-Franco & Gasparetto, 2020).

- Ciberseguridad: en el 2023, tanto las industrias como los gobiernos a escala global deben asegurarse de la correcta implementación de soluciones y estrategias que mejoren la ciberseguridad en la cadena de suministro en busca de riesgos y que permitan protegerse de posibles ataques. Cabe resaltar que, una empresa por sí sola no puede salvaguardar sus operaciones y equipos sin incluir a todos sus proveedores y profesionales de seguridad informática ya que el intercambio de información que se produce a lo largo de la cadena de suministro reduce el efecto látigo y ayuda a los responsables a optimizar el stock de seguridad (Ajagbe et al., 2023; Cheung et al., 2021).
- Uso de software para el cálculo de rutas: las empresas requieren más que sólo eficiencia en el proceso de sus entregas o de su cadena de suministro; es necesario implementar un sistema de gestión de transporte que sea capaz de conectar todos los aspectos logísticos, les permita cumplir con los pedidos de los clientes, satisfacer las demandas del mercado de manera oportuna y eficaz, optimizar las rutas a través de un software especializado e incorporar a la gestión de sus entregas la capacidad de adaptarse dinámicamente a los cambios (Lo & Chuang, 2023; Zeng et al., 2009).

En el transcurso del 2023, el sector logístico en Colombia afronta varios desafíos que deben ser abordados para continuar creciendo, potenciarse, sostenerse en el tiempo y mantener la competitividad frente a otros países. A las empresas de todos los tamaños les corresponde asumir el reto de establecer una logística organizada, con la última tecnología y que funcione de forma eficiente; esto les permitirá lograr la fidelización de los clientes, cumplir la promesa de valor y posicionarse en el Top of Mind y Top of Heart de las compañías.

Si las empresas enfrentan los retos de manera estratégica y con la integración de las mejores tecnologías del mercado y de inteligencia artificial, estarán consolidando soluciones que permitirán conectar, administrar, actualizar datos de manera innovadora y construir sistemas seguros, confiables y transparentes, que se traducirán en servicios mucho más eficaces, los cuales ayudarán al sector logístico colombiano a ser más competitivo sin dejar de lado la capacitación del personal para optimizar los procesos y las prácticas en materia de responsabilidad ambiental.

Panorama general del departamento del Atlántico

El Departamento del Atlántico se encuentra ubicado en la región Caribe de Colombia y es uno de los departamentos más importantes del país debido a su ubicación estratégica, infraestructura de transporte y desarrollo económico. La capital del departamento es Barranquilla, que también es conocida como "La Puerta de Oro de Colombia". El Atlántico limita al norte con el Mar Caribe, al este con el departamento de Magdalena, al sur con el departamento de Bolívar y al oeste con el departamento del Magdalena y el Mar Caribe.

El sector logístico es uno de los pilares de la economía del Atlántico, ya que facilita el transporte, la distribución y el almacenamiento de mercancías entre los diferentes actores de la cadena productiva. El departamento cuenta con una infraestructura vial, ferroviaria, fluvial y aérea que le permite conectarse con el resto del país y con el exterior. Además, tiene una oferta de servicios logísticos especializados que abarcan desde el manejo de carga hasta la gestión aduanera, pasando por el embalaje, el etiquetado, el control de calidad y la trazabilidad.

El departamento del Atlántico tiene un gran potencial para desarrollar aún más su sector logístico, aprovechando su posición estratégica, su diversidad productiva y su capital humano. Algunos de los retos que enfrenta son mejorar la competitividad, la innovación y la sostenibilidad de sus procesos logísticos, así como fortalecer la articulación entre los sectores público y privado, la academia y la sociedad civil. De esta manera, podrá consolidarse como un referente logístico en el Caribe y en el país.

Transformación digital

El trabajo de (Mejía-Delgado & Mejía-Delgado, 2022) señala que la mayoría de los líderes empresariales reconocen que la transformación digital (TD) es un tema crucial y crítico, pero tan solo la mitad de ellos tiene el conocimiento de la TD y su proceso de implementación; por esta razón, las empresas se encuentran en diferentes niveles de maduración digital. La TD permite a través de sus tecnologías digitales, generar valor a las sociedades y mejorar sus condiciones de vida. En consecuencia, todas las organizaciones que quieran participar y competir en la

economía digital tendrán que realizar inversiones en transformación de procesos, talento humano, tecnología de recolección y análisis de datos (Kumar et al., 2021; Pappas et al., 2018), lo que permitirá crear una ventaja competitiva y un cambio estratégico en las organizaciones y en la sociedad.

Desde la literatura se tiene que la mejora en productividad es un requerimiento en el actual contexto competitivo (Apergis et al., 2008; Junge et al., 2016; Mohnen & Hall, 2013; Vásquez-Rodríguez, 2019; Zhu et al., 2021), estos trabajos consideran que las inversiones realizadas en actualización de tecnología aumentan la probabilidad de innovación de productos y procesos, lo que a su vez aumenta la productividad de la empresa. Esto va en línea con lo planteado en el documento Conpes 4023 de 2021 "POLÍTICA PARA LA REACTIVACIÓN, LA REPOTENCIACIÓN Y EL CRECIMIENTO SOSTENIBLE E INCLUYENTE: NUEVO COMPROMISO POR EL FUTURO DE COLOMBIA" (Conpes, 2021) y se constituye en el eje de desarrollo de esta iniciativa, junto con el documento Conpes 3975 de 2019 "POLÍTICA NACIONAL PARA LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL E INTELIGENCIA ARTIFICIAL" en el cual se señala que es un objetivo nacional el potenciar la generación de valor social y económico en el país a través del uso estratégico de tecnologías digitales en el sector público y el sector privado, para impulsar la productividad y favorecer el bienestar de los ciudadanos (Conpes, 2019).

La transformación digital es un proceso continuo y complejo, multidimensional, vinculado a factores sociales, económicos y tecnológicos (Dal Mas et al., 2020; MINTIC, 2020; Vaska et al., 2021). Este proceso impacta todos los aspectos relacionados con lo que se hace y la forma en que se realiza, por lo cual se debe hacer especial énfasis en que no se constituye como algo pasajero o que sólo es algo "que se debe instalar". Es algo que implica un cambio de mentalidad de todo el proceso de la organización para pensar en clave digital (Muñoz Sastre et al., 2019).

El trabajo de Pineda Posada (2021) señala que en el contexto colombiano, se ha avanzado en la implementación de un modelo de transformación digital, pero que aún existe un amplio camino por recorrer. El gran reto es que el país logre pasar de ser una nación en etapa de transición a una de transformación digital. Actualmente, el desarrollo de Colombia como país digital, se conforma de los pilares: ecosistema digital (Marcos tecnológicos que promuevan la competencia, el desarrollo de ciudades y regiones inteligentes), economía digital (Eliminar barreras a la inversión, políticas públicas que mejoren confianza de usuarios), conectividad digital (Infraestructura, Aumento velocidad, Mayor penetración de internet, Aprovechamiento de tecnologías emergentes) y Gobierno digital (Políticas públicas que fomenten la apropiación tecnológica).

Aproximación Teórica a los modelos de madurez

En términos generales los modelos de madurez permiten la evaluación de la madurez de la gestión de procesos en las organizaciones y ayudan a establecer puntos de referencia al revelar las oportunidades para mejorar los procesos (Akinpelu et al., 2021). Además, se utilizan para representar la manera ordenada y eficaz de realizar los procesos organizacionales (Proença & Borbinha, 2018). Los modelos de madurez permiten a los equipos evaluar la madurez de una organización o departamento en relación con ciertos puntos de referencia (Seidel-Sterzik et al., 2018). La madurez se define como una colección de competencias de procesos comerciales que dan una indicación de la presentación anticipada de los procesos comerciales (Akinpelu et al., 2021).

Algunos de los principales beneficios de los modelos de madurez son que ayudan a comparar al revelar las oportunidades para mejorar del proceso. Los modelos de madurez ayudan a determinar si están listos o completos y al ser un estándar, determinar la hoja de ruta o las acciones necesarias para alcanzar el nivel esperado o deseado por la organización y/o institución.

A partir del trabajo de (Akinpelu et al., 2021) se presenta un listado de modelos de madurez en el contexto organizacional y que se constituyen en referentes para la construcción del modelo de madurez. Ver tabla 1.

Tabla 1. Revisión de modelos de madurez de referencia

Nombre	Fuente	Descripción
CMM	Software Engineering Institute (Albliwi et al., 2014)	Modelo de madurez que proporciona un conjunto de instrumentos de construcción sistemática, que incluye un cuestionario de madurez orientado a procesos de desarrollo de software. Este modelo es la base para la mejora de los procesos de software y tiene niveles de madurez.
CMMI	Software Engineering Institute (Albliwi et al., 2014)	La evolución del CMM con mejoras y un marco para resolver los desafíos relacionados con la gestión de proyectos y el proceso en el desarrollo de productos y servicios.
RUM	Rummler-Brache Group (Van Looy et al., 2010)	Es capaz de medir tanto la madurez como una cultura orientada a procesos. Evalúa 10 aspectos puntuales de la organización y establece niveles de madurez.
iSOAM	(Rathfelder & Groenda, 2008)	Este modelo de madurez no depende del uso de tecnología y productos. iSOAM es capaz de enumerar todos los desafíos, ventajas y riesgos que están relacionados con los niveles de madurez individuales, lo que permite a las organizaciones elegir el nivel de madurez más adecuado, sin importar cuán bajo sea. La iSOAM otorga a las organizaciones la capacidad de identificar las áreas satisfactorias que les permitirán adoptar la arquitectura orientada a servicios (SOA) y ayudar en el desarrollo de su hoja de ruta
SOAMM	The Open Group (Rathfelder & Groenda, 2008)	El modelo de madurez de la arquitectura orientada a servicios es un modelo que se utiliza en la evaluación del estado actual de adopción y madurez de la Arquitectura Orientada a Servicios en las organizaciones. El modelo se utiliza para medir el estado actual de las cosas y también se utiliza en el desarrollo de cambio que conducirá al estado deseado.
KMMM	KMMM (Mthembu & Du Plessis, 2018)	El modelo de madurez de gestión del conocimiento (KMMM) es un modelo de madurez que se utiliza para medir la madurez de los procesos asociados a la gestión del conocimiento. Indica qué tan bien pensada está la función de gestión del conocimiento y qué tan madura es.
COBIT5	ISACA (Oliver & Lainhart, 2012)	COBIT5 se centra más en medir la gobernanza de la tecnología de la información, mide aspectos de los datos y la información en el espacio de la tecnología de la información sin centrarse demasiado en la gestión de datos e información.
EIMMM	(Gartner, 2016)	Gartner define la gestión de información empresarial (EIM) como la organización que se compromete a “estructurar, asegurar y mejorar la precisión e integridad de la información empresarial; resolver las inconsistencias semánticas a través de los límites y; apoyar los objetivos de la arquitectura empresarial y la estrategia empresarial”. Este modelo plantea seis niveles de madurez sin indicar técnicas o estrategias de evaluación.
ARMA	(ARMA, 2020)	Tiene principios que proporcionan procedimientos de alto nivel que deben practicarse en el mantenimiento de registros, pero no detalla los principios de implementación ni políticas, tecnología, roles y detalles de procedimiento. El modelo de madurez tiene 5 niveles como la mayoría de los modelos de madurez disponibles, y las organizaciones pueden elegir el nivel de madurez en el que desean estar. Los pasos son informales y tienen declaraciones simplificadas de lo que se debe hacer, pero no definen cómo se debe hacer.
IS4H-MM	Organización Panamericana para la Salud (OPS, 2022)	Es un marco de referencia que guía a los sistemas de información para la salud a lo largo del trayecto del cambio marcado por la revolución de la información y el conocimiento, y muestra la forma en que los países y las organizaciones pueden aumentar la capacidad para operar, interactuar y beneficiarse de ellos. Cuenta con cinco niveles de madurez.

Método

Para el desarrollo del modelo se planteó una serie de fases y actividades que se listan a continuación:

- **Búsqueda de Modelos de Referencia:**

En esta fase, se realizó una revisión exhaustiva de la literatura y de modelos existentes que son relevantes para el problema o contexto que se está abordando. Esto incluye modelos teóricos, empíricos y prácticos. El objetivo fue entender las mejores prácticas, identificar brechas en el conocimiento existente y determinar qué aspectos de los modelos existentes son aplicables al contexto actual.

- **Identificación de Componentes y Variables Clave para Regiones Emergentes:**

Aquí se identificaron y seleccionaron las variables y componentes clave que son críticos para el éxito del modelo en regiones emergentes.

- **Puesta en Relación de las Variables Identificadas:**

En esta fase, se establecen las relaciones entre las variables y componentes identificados. Esto implicó la creación de un marco conceptual que describe cómo estas variables interactúan entre sí. Esto es crítico para entender cómo los cambios en una variable pueden afectar a otras. Además, se construye la versión inicial del modelo considerando los componentes y variables identificadas.

- **Construcción y Aplicación del Instrumento:**

Se desarrolló un instrumento con las siete (7) dimensiones y un conjunto de variables (23), el instrumento se construyó en la plataforma de Google Forms®, cada sección utiliza una escala de valoración que permite a los encuestados autoevaluar cada componente con un nivel de madurez desde 1 (bajo/nulo) hasta 5 (alto/totalmente implementado). Además, se pide la identificación de elementos específicos dentro de la empresa que contribuyan a la madurez en cada componente.

- **Elaboración de Informes y Conclusiones del Modelo:**

Finalmente, en esta fase se analizan los datos recopilados mediante el instrumento y se elaboran informes que describen los hallazgos. Esto incluye la interpretación de los resultados, la identificación de las implicancias prácticas del modelo y la formulación de recomendaciones para la acción basadas en los resultados del modelo.

Esta metodología es coherente y lógica, y sigue un proceso que va desde la revisión de la literatura hasta la aplicación práctica y la evaluación de un modelo. Es un enfoque que se utiliza comúnmente en la investigación aplicada y en el desarrollo de estrategias y políticas en diversos campos.

Resultados

Búsqueda de Modelos de Referencia:

A partir de una revisión exhaustiva de la literatura se identificó un total de seis (6) modelos relevantes para el problema o contexto de interés, los cuales se presenta a continuación, destacando los aspectos más relevantes para el desarrollo del modelo en cuestión.

- **CMM y CMMI:** Ambos modelos se centran en la mejora de procesos, aunque originalmente estaban orientados al desarrollo de software. Sin embargo, sus principios y estructura pueden adaptarse y aplicarse a otros contextos, incluidos los procesos de comunicación de ciencia, tecnología e innovación.
- **RUM:** Este modelo evalúa la madurez y la cultura orientada a procesos en una organización, lo que hace relevante para evaluar la madurez de procesos de comunicación de ciencia, tecnología e innovación.
- **KMMM:** Dado que la gestión del conocimiento es esencial en la comunicación de ciencia, tecnología e innovación, el modelo KMMM puede ser relevante para evaluar cómo una organización gestiona, comparte y comunica el conocimiento.

- EIMMM: La gestión de información empresarial es crucial en la comunicación efectiva de ciencia, tecnología e innovación. Este modelo puede ser útil para evaluar cómo se estructura, asegura y mejora la precisión e integridad de la información en una organización.
- IS4H-MM: Aunque este modelo se centra en los sistemas de información para la salud, su enfoque en la revolución de la información y el conocimiento podría hacerlo relevante para la comunicación de ciencia, tecnología e innovación, especialmente en el contexto de la salud.

Los demás modelos identificados en la literatura, como iSOAM, SOAMM, COBIT5 y ARMA, aunque tienen relevancia en sus respectivos campos, podrían no estar directamente relacionados con la madurez de procesos de comunicación de ciencia, tecnología e innovación, a menos que se adapten específicamente para ese propósito.

Identificación de Componentes y Variables Clave para Regiones Emergentes:

Se identificaron y seleccionaron siete (7) componentes (Tecnología, Automatización, Análisis de datos, Cultura de innovación, Gestión de procesos, Gestión organizacional, Personal y conocimiento) y cincuenta y un conjunto de variables (21) las variables y componentes clave que son críticos para el éxito del modelo. A continuación se presenta la descripción de los componentes y variables identificadas para el modelo. Ver tabla 2.

Tecnología

La dimensión tecnológica evalúa el grado de adopción e integración de soluciones tecnológicas avanzadas en la cadena de suministro y operaciones logísticas. Incluye el análisis de la inversión en tecnologías emergentes y el nivel de conocimiento interno que posee la empresa para su implementación y mantenimiento efectivo (Bernal-Jiménez y Rodríguez-Ibarra, 2019).

Automatización

Esta dimensión mide la extensión y profundidad de la automatización de procesos operativos y logísticos. Se centra en la capacidad de la empresa para integrar sistemas autónomos y robóticos en sus operaciones, aumentando la eficiencia, la precisión y reduciendo la variabilidad en la ejecución de tareas (David & Mejía, 2022).

Análisis de datos

El análisis de datos se refiere a la capacidad organizacional para recolectar, procesar y analizar grandes volúmenes de datos para extraer insights valiosos que apoyen la toma de decisiones estratégicas. Incluye la inversión en herramientas analíticas y la relevancia que los datos tienen en la configuración de estrategias empresariales (Chou et al., 2023; Ge & Yan, 2022).

Cultura de innovación

Esta dimensión aborda la existencia y fortaleza de una cultura organizacional que promueve la innovación continua. Evalúa cómo la empresa fomenta la apertura a nuevas ideas, la experimentación y la asignación de recursos para el desarrollo y la implementación de soluciones innovadoras (Van Reine, 2016).

Gestión de procesos

La gestión de procesos examina la definición, estandarización y control de los procesos operacionales y administrativos. Se enfoca en la capacidad de la empresa para establecer procesos claros y consistentes que puedan ser monitoreados y mejorados continuamente (Iancu et al., 2014).

Gestión organizacional

Esta dimensión considera la estructura organizacional y su alineación con los objetivos estratégicos de la empresa. Evalúa cómo están definidos los roles, responsabilidades y la planificación estratégica para soportar una ejecución efectiva y una adaptabilidad organizacional (Medina, 2021).

Personal y conocimiento

Se centra en la capacidad, habilidades y conocimiento del personal en relación con las tecnologías de la industria 4.0. Evalúa las iniciativas de capacitación y formación continua, así como los programas de retención de talento para asegurar una fuerza laboral competente y comprometida con la visión de la empresa (Santos y Martínez, 2020).

Tabla 4. Relación de dimensiones y variables seleccionadas

DIMENSIÓN	VARIABLES	DESCRIPCIÓN
Tecnología	Uso de tecnologías asociadas al proceso logístico	Se enfoca en cómo la empresa adopta y utiliza tecnologías relevantes para optimizar sus procesos logísticos.
	Inversión en tecnologías asociadas al proceso logístico	Evalúa el compromiso financiero de la empresa con la tecnología como una herramienta estratégica.
	Conocimiento de tecnologías	Mide la comprensión y experiencia de la organización en tecnologías actuales y emergentes.
Automatización	Nivel de automatización de procesos	Indica el grado en que los procesos logísticos se han automatizado para mejorar la eficiencia y reducir errores.
	Integración de procesos	Examina cómo los diferentes procesos logísticos están conectados y coordinados mediante tecnología.
	Uso de tecnologías de automatización	Evalúa la efectividad y el alcance del uso de tecnologías específicas de automatización.
Análisis de datos	Uso del análisis de datos en la empresa	Mide la capacidad de la empresa para recopilar y analizar datos para tomar decisiones informadas.
	Relevancia del análisis de datos en la empresa	Evalúa la importancia estratégica que la empresa asigna al análisis de datos en sus operaciones.
	Inversión en herramientas para el análisis de datos	Refleja el nivel de inversión en herramientas y sistemas para el análisis de datos.
Cultura de innovación	Existencia de una cultura de innovación	Evalúa si la organización promueve y sostiene un entorno que favorece la innovación.
	Apertura y experimentación	Mide el grado de apertura de la empresa hacia nuevas ideas y su disposición para experimentar.
	Recursos para el desarrollo de innovación	Evalúa la asignación de recursos para actividades y proyectos de innovación.
Gestión de procesos	Definición de procesos	Examina la claridad y la formalización de los procesos logísticos en la organización.
	Estandarización de procesos	Evalúa el nivel de estandarización de los procesos para garantizar la consistencia y calidad.
	Seguimiento y control de procesos	Mide la efectividad de los mecanismos de seguimiento y control de los procesos logísticos.
Gestión organizacional	Definición de estructura organizacional	Evalúa cómo está estructurada la organización para soportar eficazmente sus operaciones logísticas.
	Roles y responsabilidades definidas	Mide la claridad en la definición de roles y responsabilidades dentro de la organización.
	Planeación estratégica definida	Evalúa la existencia y efectividad de un plan estratégico para guiar la dirección de la empresa.
Personal y conocimiento	Habilidades y conocimiento en tecnologías 4.0	Mide el nivel de habilidades y conocimientos del personal en tecnologías relacionadas con la industria 4.0.

Capacitación y formación	Evalúa los esfuerzos y recursos destinados a la capacitación y formación del personal.
Programas de retención del talento humano	Examina las estrategias de la empresa para retener a empleados calificados y talentosos.

Puesta en Relación de las Variables Identificadas:

El modelo plantea tres (3) niveles de madurez respecto al nivel de alistamiento de las empresas del sector logístico frente a las tendencias tecnológicas del sector a nivel mundial, especialmente las relacionadas con la industria 4.0 o logística 4.0. La figura 1 presenta los tres (3) niveles de madurez.

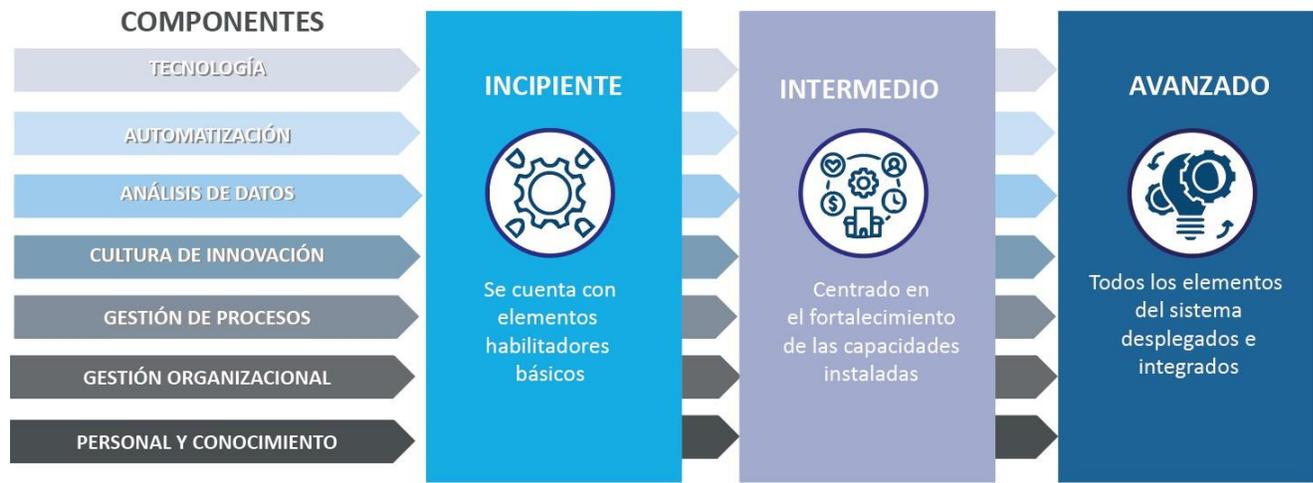


Figura 2. Niveles de madurez para el modelo

Cada nivel de madurez se caracteriza por la adopción y uso de tecnologías y herramientas más avanzadas y sofisticadas. Las empresas que están en el nivel incipiente están en las primeras etapas de la adopción de tecnologías 4.0 y tienen un uso limitado de herramientas analíticas y de gestión de datos. En el nivel intermedio, las empresas han adoptado tecnologías más avanzadas y están automatizando una cantidad significativa de procesos. También están utilizando herramientas analíticas más avanzadas y tienen una gestión de datos más sofisticada. Las empresas que están en el nivel consolidado han integrado completamente las tecnologías 4.0 en su cadena de suministro y están aprovechando al máximo las herramientas analíticas avanzadas y la gestión de datos sofisticada para tomar decisiones basadas en datos.

El modelo de madurez para la implementación de tecnologías 4.0 en empresas del sector logístico incluye seis dimensiones: tecnología, automatización, análisis de datos, gestión de datos, gestión organizacional y gestión de procesos. Cada dimensión se divide en niveles de madurez incipiente, intermedio y consolidado, con variables específicas asociadas con cada nivel de madurez. Este modelo de madurez puede ayudar a las empresas del sector logístico a evaluar su madurez en la implementación de tecnologías 4.0 y desarrollar un plan de acción para mejorar su adopción y aprovechamiento.

Es importante destacar que estas dimensiones y variables son solo una guía para evaluar la madurez en la implementación de tecnologías 4.0 en empresas del sector logístico. Cada empresa debe adaptar este modelo a su contexto específico y utilizarlo como una herramienta de autoevaluación para identificar áreas de mejora y definir un plan de acción para avanzar hacia niveles más altos de madurez.

Construcción y Aplicación del Instrumento:

Se desarrolló un instrumento con las siete (7) dimensiones y un conjunto de variables (23), el instrumento se construyó en la plataforma de Google Forms®, cada sección utiliza una escala de valoración que permite a los encuestados autoevaluar cada componente con un nivel de madurez desde 1 (bajo/nulo) hasta 5 (alto/totalmente

implementado). Además, se pide la identificación de elementos específicos dentro de la empresa que contribuyan a la madurez en cada componente.

El instrumento fue enviado vía correo electrónico y a través de mensajes de texto a una base de datos de 30 empresas identificadas bajo los CIU 4923, 5224, 5210 y 5229 en la ciudad de Barranquilla. Se obtuvo respuesta de 23 empresas después de realizar un acompañamiento telefónico.

Elaboración de Informes y Conclusiones del Modelo:

La figura 3 presenta los resultados del análisis del componente tecnología para las empresas participantes.

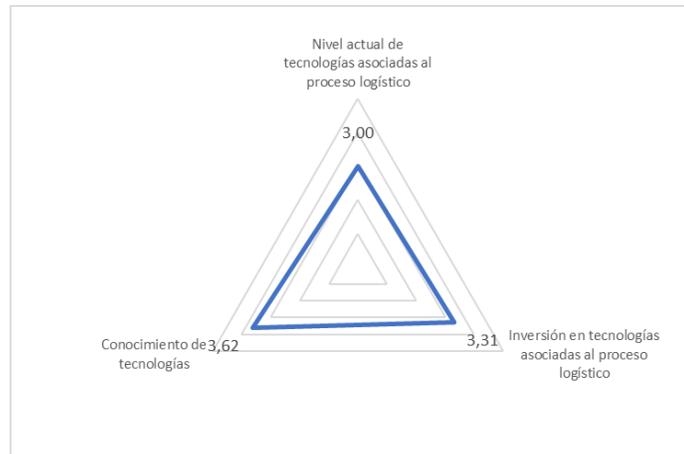


Figura 3. Análisis del componente Tecnología

El componente de **Tecnología**, obtuvo un puntaje general de 3,31, lo cual lo ubica en el nivel intermedio. Esto sugiere que las pymes en el sector logístico de Barranquilla tienen una adopción y aplicación de tecnologías de Industria 4.0 que no es ni básica ni altamente avanzada, sino que tienen un desarrollo considerable y están en camino hacia una mayor integración de estas tecnologías. Respecto a los subcomponentes, se tiene que el *Nivel actual de tecnologías asociadas al proceso logístico* con una puntuación de 3,00, se encuentra en el nivel intermedio. Esto indica que las pymes poseen un nivel competente de tecnologías actuales en sus procesos logísticos, aunque hay espacio para el crecimiento y la mejora. Por su parte, la *Inversión en tecnologías asociadas al proceso logístico* se sitúa en el nivel intermedio, lo que implica que las pymes están invirtiendo en tecnología de manera significativa, pero todavía no alcanzan un nivel considerado avanzado. En cuanto al *Conocimiento de tecnologías* con una puntuación de 3,62, se sitúa justo al borde entre el nivel intermedio y avanzado. Esto puede interpretarse como que hay un buen entendimiento y familiaridad con las tecnologías de Industria 4.0 dentro de las pymes. Con un poco más de desarrollo, este subcomponente podría considerarse avanzado.

Las pymes de Barranquilla muestran una adopción variada de tecnologías de logística 4.0, con software de gestión de inventarios y sistemas de escaneo de códigos de barras ampliamente implementados, mientras que tecnologías emergentes como la inteligencia artificial, la realidad aumentada y los robots autónomos aún no están extensamente adoptadas. Esta disparidad en la implementación refleja diferentes niveles de madurez tecnológica en el sector, destacando oportunidades para el desarrollo y la innovación en áreas menos exploradas de la logística moderna.

Para el componente **Automatización**, la figura 4 presenta los resultados obtenidos a partir de las respuestas de las empresas participantes.

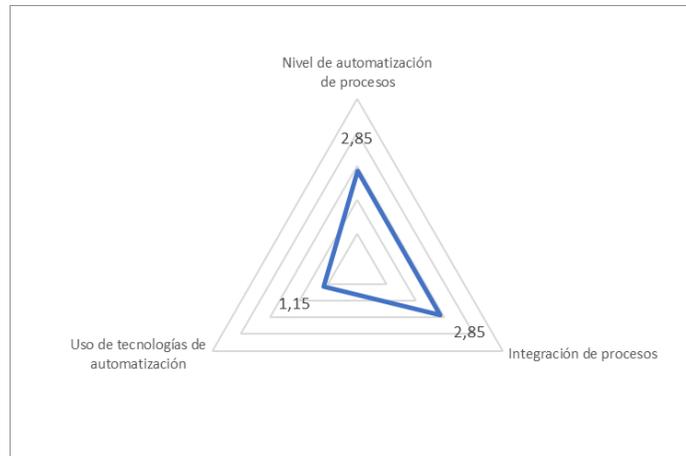


Figura 4. Análisis del componente Automatización

Las pymes de Barranquilla tienen un nivel general de automatización que se califica con 2,28, situándose en el nivel intermedio según el modelo de madurez tecnológica que maneja (incipiente 0-1,7, intermedio 1,71-3,4, y avanzado 3,41-5). Dentro de este componente, el *Nivel de automatización de procesos* y la *Integración de procesos* tienen una puntuación de 2,85 cada uno, lo que también los coloca en el nivel intermedio, sugiriendo que hay una adopción decente de la automatización pero aún con margen de mejora. Sin embargo, el *Uso de tecnologías de automatización* tiene una puntuación significativamente más baja de 1,15, ubicándolo en el nivel incipiente, lo que indica que hay una gran oportunidad de crecimiento en la implementación efectiva de tecnologías de automatización en las pymes del sector.

Las pymes del sector logístico en la ciudad de Barranquilla presentan una adopción heterogénea de tecnologías de automatización según el estudio. Se observa una inclinación hacia la adopción de sistemas de picking automatizados, sistemas de clasificación y almacenamiento de alta velocidad, así como sistemas de control de calidad automatizados, con varias pymes indicando que están en proceso de implementación o ya los han establecido en sus operaciones. Por otro lado, tecnologías más avanzadas como los sistemas de logística completamente autónomos todavía no son comunes, con la mayoría de las empresas participantes reportando que no cuentan con ellas. Esto refleja una variabilidad en el grado de integración tecnológica, con un notable interés en el mantenimiento predictivo y preventivo, evidenciando un esfuerzo por mejorar la eficiencia operativa y minimizar el tiempo de inactividad. El panorama general del estudio para este componente muestra una diversidad en los niveles de madurez tecnológica entre las pymes barranquilleras, con algunas avanzando más que otras en la implementación de soluciones automatizadas.

Para el componente de **Análisis de Datos**, la figura 5 presenta los resultados obtenidos para el grupo de pymes participantes del estudio.

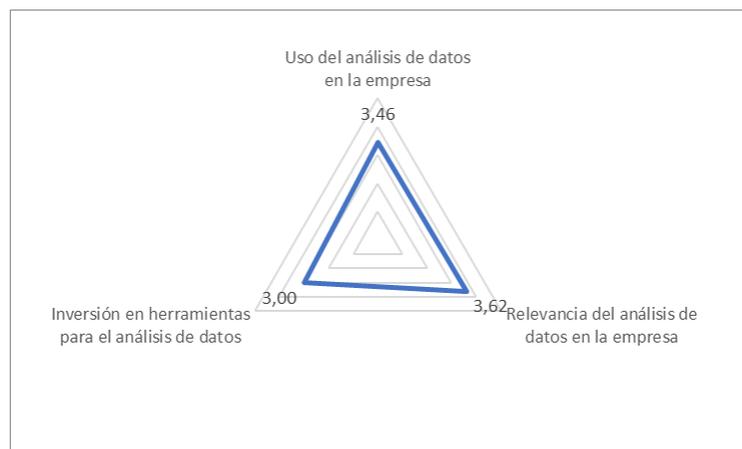


Figura 5. Análisis del componente Análisis de Datos

El componente **Análisis de Datos** muestra una puntuación media de 3,36, situándose en el nivel intermedio de madurez tecnológica. El *Uso del análisis de datos en la empresa* tiene una puntuación de 3,46, lo que indica una adopción positiva de prácticas de análisis de datos. La *Relevancia del análisis de datos en la empresa* recibe la puntuación más alta con un 3,62, sugiriendo una alta valoración de la importancia del análisis de datos en la toma de decisiones empresariales. Sin embargo, la *Inversión en herramientas para el análisis de datos* tiene una puntuación ligeramente más baja de 3,00, lo que indica que, aunque hay reconocimiento de la importancia del análisis de datos, la inversión en herramientas específicas puede no estar al mismo nivel. Esto puede señalar una oportunidad de crecimiento y mejora en la infraestructura de análisis de datos para estas pymes.

Dentro de los resultados obtenidos, se destaca que algunas tecnologías como los sistemas para la toma de decisiones en tiempo real y los sistemas de gestión de datos en tiempo real están siendo implementados por algunas empresas, lo que sugiere un enfoque en la agilidad y capacidad de respuesta inmediata en la gestión logística. Sin embargo, hay una notable falta de adopción de tecnologías avanzadas de análisis de datos, como la inteligencia artificial, el aprendizaje automático y el blockchain para la trazabilidad de productos, ya que muchas pymes reportan no disponer de estas tecnologías. El análisis predictivo y los sistemas avanzados de visualización de datos tienen una adopción mixta, con algunas empresas en proceso de implementación y otras que ya los han implementado, indicando un reconocimiento de su valor para la toma de decisiones estratégicas. Este panorama revela que, aunque hay un reconocimiento de la importancia del análisis de datos en la logística, la inversión en tecnologías específicas varía, presentando oportunidades para un mayor desarrollo en este campo.

Para el componente **Cultura de Innovación**, se presentan los resultados en la figura 6.

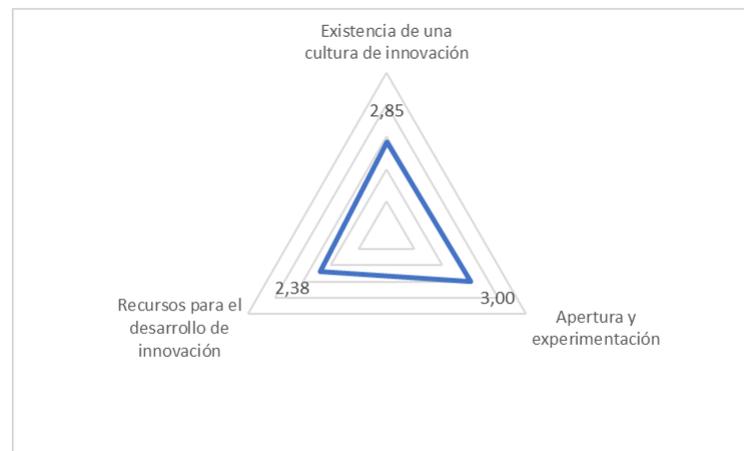


Figura 6. Análisis del componente Cultura de Innovación

Las pymes del sector logístico en Barranquilla han sido evaluadas en el componente **Cultura de Innovación** con una puntuación global de 2,74, lo cual las coloca en un nivel intermedio de madurez en cuanto a la cultura de innovación se refiere. El subcomponente *Existencia de una cultura de innovación* obtuvo una puntuación de 2,85, indicando que hay una base establecida pero aún hay margen para fortalecer la cultura de innovación dentro de las empresas. El subcomponente *Apertura y experimentación* tiene la puntuación más alta con 3,00, lo que sugiere que las pymes están más abiertas y dispuestas a probar nuevas ideas y enfoques en sus procesos. Sin embargo, el subcomponente *Recursos para el desarrollo de innovación* recibió una puntuación más baja de 2,38, reflejando que puede haber limitaciones en los recursos asignados para apoyar iniciativas de innovación, lo cual podría ser un área de mejora para aumentar la capacidad de innovación en el sector.

Las prácticas frecuentemente mencionadas, como el fomento de la innovación y la participación en eventos sobre tecnologías 4.0, sugieren que las empresas están buscando mantenerse al día con las tendencias actuales y prepararse para futuras disrupciones. La capacitación en tecnologías 4.0 y la implementación de proyectos piloto son prácticas proactivas que pueden facilitar la adaptación a nuevos procesos y tecnologías, asegurando que la

empresa no solo adopte innovaciones, sino que también cree un ambiente donde la experimentación es posible y se vea recompensada.

Incorporar personal especializado en innovación y establecer presupuestos dedicados refleja un compromiso a nivel organizativo con la innovación, lo que es crucial para su éxito a largo plazo. Además, el establecimiento de acuerdos de colaboración con centros de investigación y universidades puede ampliar las capacidades de innovación de las empresas al acceder a conocimientos y tecnologías de vanguardia, y al fomentar un intercambio de ideas frescas y colaboraciones productivas.

En un contexto general, las prácticas de innovación que podrían ser menos empleadas son aquellas que requieren una mayor inversión de recursos, como la implementación de tecnologías de punta o la colaboración con centros de investigación y universidades. Además, las prácticas que requieren cambios organizativos más profundos, como la implementación de un proceso formal de gestión de la innovación o la incorporación de una visión a largo plazo y disruptiva, también son menos frecuentes, ya que implican cambios estructurales y estratégicos significativos.

La figura 7 presenta los resultados para el componente de **Gestión de Procesos**

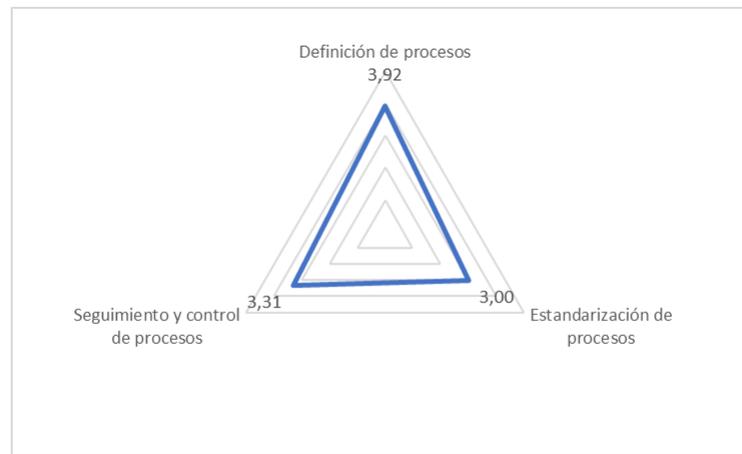


Figura 7. Análisis del componente Gestión de procesos

Las pymes del sector logístico en Barranquilla muestran un nivel intermedio a avanzado en la gestión de procesos con una calificación general de 3,41, destacándose en la *Definición de procesos* con un alto puntaje de 3,92, indicativo de prácticas robustas en la documentación y delineación de sus procedimientos. A pesar de ello, la *estandarización y el seguimiento y control de procesos* presentan oportunidades de mejora, con puntuaciones de 3,00 y 3,31 respectivamente, señalando la necesidad de mayor coherencia y refinamiento en la aplicación y monitoreo de procesos para alcanzar un nivel de gestión avanzado.

En la gestión de procesos dentro de las pymes participantes del sector logístico en Barranquilla, las prácticas de "Identificación y mapeo de procesos logísticos", "Implementación de sistemas de gestión de procesos", "Uso de metodologías de mejora continua" y "Monitoreo y medición de indicadores de desempeño" emergen como las más recurrentes. Estas actividades son fundamentales para la estructuración eficaz de operaciones logísticas y sugieren un enfoque significativo en la optimización y la calidad. Mientras que elementos como la "Automatización de procesos" y la "Integración con sistemas de gestión empresarial" se mencionan con menos frecuencia, indican una tendencia hacia la incorporación de tecnologías avanzadas y la alineación estratégica para mejorar la eficiencia y la competitividad en el mercado.

Para el componente de **Gestión Organizacional**, la figura 8 presenta los resultados obtenidos para el grupo de empresas participantes.

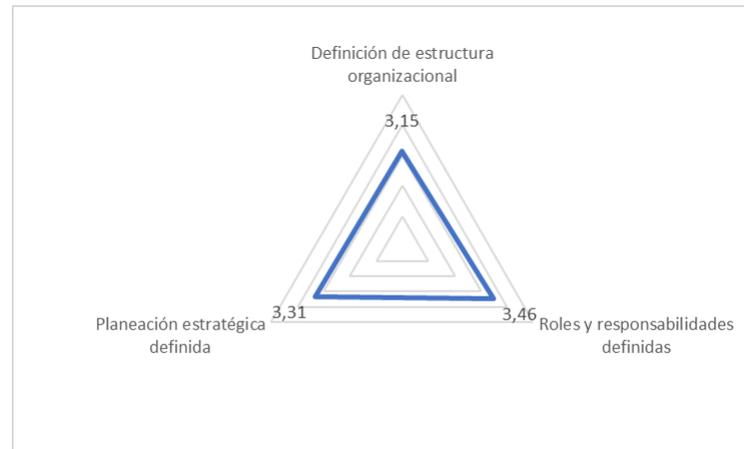


Figura 8. Análisis del componente Automatización

En el ámbito de la gestión organizacional, las pymes del sector logístico en Barranquilla obtienen una calificación general de 3,31, lo que las sitúa en un nivel intermedio del modelo de madurez. Destacan en la *Definición de roles y responsabilidades* con un puntaje de 3,46, lo que sugiere claridad en la distribución de tareas y expectativas dentro de las empresas. La *Planeación estratégica* también recibe un puntaje favorable de 3,31, indicando una orientación hacia una visión a largo plazo y objetivos claros. Sin embargo, la *Definición de estructura organizacional*, con un puntaje de 3,15, aunque todavía en el rango intermedio, muestra un área con potencial de mejora para fortalecer la organización interna y optimizar la coordinación y la eficiencia.

Para el componente **Personal y conocimiento** la figura 9 presenta los resultados para las empresas participantes.

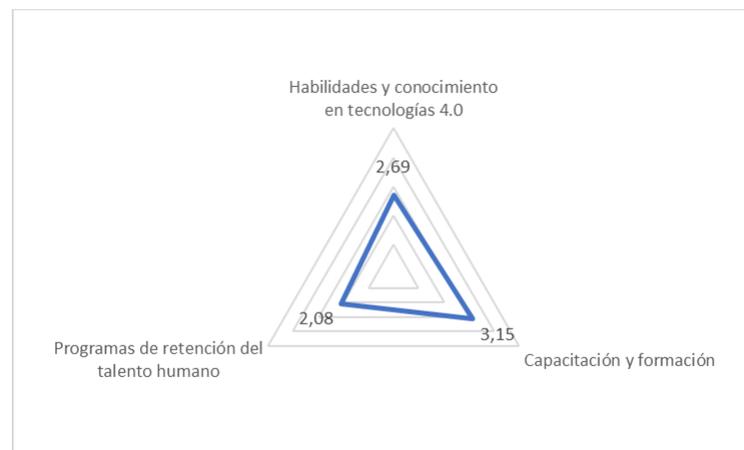


Figura 9. Análisis del componente Personal y Conocimiento

Las pymes del sector logístico en Barranquilla han sido evaluadas en el componente Personal y Conocimiento con un promedio de 2,64, lo que indica un nivel incipiente a intermedio de madurez en esta área. El subcomponente *Capacitación y formación* es el más alto con 3,15, reflejando un enfoque activo en la educación y el mejoramiento de habilidades del personal, probablemente para mantenerse al día con las demandas de la Industria 4.0. Sin embargo, *Habilidades y conocimiento en tecnologías 4.0* tiene un puntaje ligeramente menor de 2,69, lo que sugiere que mientras hay esfuerzos de capacitación, puede haber una brecha en la aplicación práctica de estos conocimientos o en la disponibilidad de tecnología relevante. El subcomponente más bajo es *Programas de retención del talento humano* con 2,08, indicando que las estrategias para mantener al personal calificado son un área significativa de mejora, lo que es esencial para impulsar la innovación y el crecimiento a largo plazo en la industria.

A partir de los resultados de los componentes individuales, se realiza el análisis general para el grupo de empresas participantes. La figura 8 presenta el resultado obtenido.

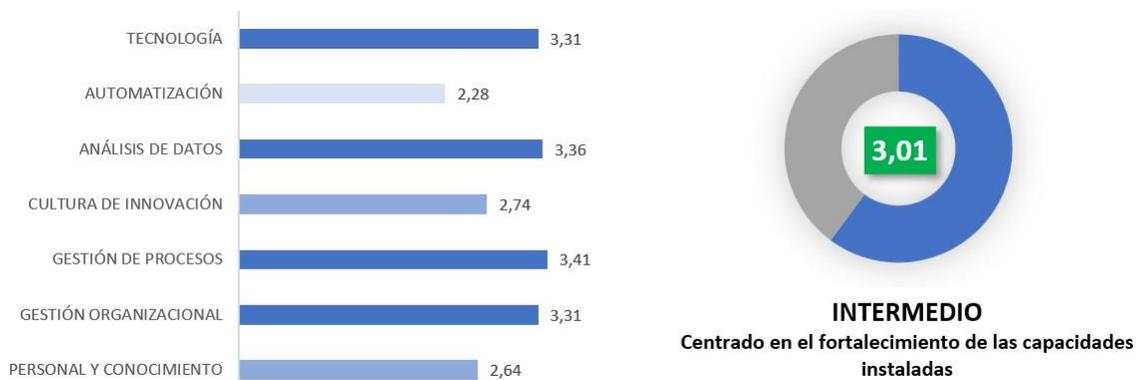


Figura 8. Resultados del modelo de madurez para el sector logístico

El análisis general de los resultados para el grupo de empresas participantes en Barranquilla indica que hay una tendencia hacia un nivel de madurez **INTERMEDIO** en la mayoría de los componentes evaluados. El resultado general es de 3,01, lo que refleja una capacidad competente en términos de adaptación y aplicación de prácticas de gestión y tecnológicas modernas. La Gestión de Procesos y la Gestión Organizacional tienen las puntuaciones más altas con 3,41 y 3,31 respectivamente, mostrando que hay un enfoque sólido en la estructura organizativa y en los procedimientos de operación. La Cultura de Innovación y el componente Personal y Conocimiento tienen las puntuaciones más bajas, con 2,74 y 2,64, indicando áreas críticas donde las empresas podrían enfocarse más, especialmente en el desarrollo y retención de talento, así como en la promoción de una cultura que apoye la innovación. La Automatización también es baja con 2,28, sugiriendo que la adopción de tecnologías automatizadas es un área significativa de oportunidad. En comparación, Análisis de Datos y Tecnología tienen puntuaciones más robustas (3,36 y 3,31), lo que señala una orientación positiva hacia la adopción de soluciones tecnológicas y el manejo de datos.

Conclusiones

El modelo de madurez empleado para evaluar a las pymes del sector logístico en Barranquilla es un instrumento valioso para diversas partes interesadas, incluyendo a los tomadores de decisiones en las empresas, formuladores de políticas públicas y gerentes.

Este modelo permite a los líderes empresariales identificar puntos fuertes y áreas de mejora. Por ejemplo, las puntuaciones más bajas en "Personal y Conocimiento" y "Cultura de Innovación" sugieren que las empresas podrían beneficiarse al invertir en programas de capacitación y desarrollo de habilidades, así como en la creación de un ambiente que fomente la innovación y la adaptabilidad. Los resultados pueden guiar la asignación de recursos, priorizar inversiones y adaptar estrategias de crecimiento al enfocarse en las áreas que más lo necesitan.

Los hallazgos del modelo proporcionan una base de evidencia para que los responsables de la formulación de políticas públicas diseñen programas de apoyo dirigidos a fomentar la competitividad en sectores clave. La puntuación baja en "Automatización" podría inspirar la creación de incentivos para la adopción de tecnologías avanzadas. Las políticas podrían dirigirse a mejorar la infraestructura digital, ofrecer subvenciones para la innovación tecnológica o proporcionar plataformas de formación en habilidades digitales y tecnologías emergentes.

Adicionalmente, los gerentes pueden utilizar el modelo para realizar evaluaciones comparativas y fomentar mejores prácticas dentro de su organización. Con una visión clara de dónde se sitúan en comparación con un estándar de madurez, pueden establecer objetivos realistas y desarrollar planes de acción para avanzar hacia niveles de madurez más altos. Además, las áreas que requieren atención, como "Programas de retención del talento humano", pueden ser cruciales para mejorar la gestión del cambio y el liderazgo estratégico.

El modelo de madurez planteado es una herramienta estratégica que puede ayudar a impulsar la transformación y el progreso. No solo ofrece una instantánea del estado actual, sino que también proporciona una hoja de ruta para el

desarrollo continuo, asegurando que las organizaciones se mantengan relevantes y competitivas en un entorno empresarial en constante evolución.

Referencias

- Ajagbe, S. A., Awotunde, J. B., Opatotun, A. T., & Adigun, M. O. (2023). Cybersecurity in the Supply Chain and Logistics Industry: A Concept-Centric Review. In A. Mishra, D. Gupta, & G. Chetty (Eds.), *Lecture Notes in Networks and Systems: Vol. 755 LNNS* (pp. 39–50). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. https://doi.org/10.1007/978-981-99-5085-0_4
- Akinpelu, T., van Eck, R., & Zuva, T. (2021). Maturity Models, Challenges and Open Issues. In S. R. (Ed.), *10th Computer Science Online Conference, CSOC 2021* (Vol. 230, pp. 110–118). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. https://doi.org/10.1007/978-3-030-77442-4_9
- Albliwi, S. A., Antony, J., & Arshed, N. (2014). Critical literature review on maturity models for business process excellence. *2014 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 79–83. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2014.7058604>
- Alegre, I., Ariño, M. Á., & Canela, M. Á. (2017). Cómo sacar partido del análisis de datos big data. *IEEM Revista de Negocios*, 48(32).
- ARMA. (2020). ARMA Information Governance Maturity Model. <https://www.arma.org/page/principles>
- Bernal-Jiménez, M. C., & Rodríguez-Ibarra, D. L. (2019). Las tecnologías de la información y comunicación como factor de innovación y competitividad empresarial. *Scientia et Technica*, 24(1), 85-96.
- Björklund, M., & Piecyk-Ouellet, M. (2021). Sustainable Logistics, CSR in Logistics, and Sustainable Supply Chain Management. In *International Encyclopedia of Transportation: Volume 1-7* (Vol. 3, pp. 64–70). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102671-7.10221-0>
- Cheung, K.-F., Bell, M. G. H., & Bhattacharjya, J. (2021). Cybersecurity in logistics and supply chain management: An overview and future research directions. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 146. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.102217>
- Chou, Y.-L., Yu, V. F., & Wu, C.-H. (2023). An efficient data-driven method for storage location assignment under item correlation considerations. *INTERNATIONAL JOURNAL OF SYSTEMS SCIENCE-OPERATIONS & LOGISTICS*, 10(1). <https://doi.org/10.1080/23302674.2023.2228447>
- David, C., & Mejia, R. (2022). Modelo de madurez para la evaluación de la logística 4.0 en operaciones logísticas de ecommerce.
- Escudero Serrano, M. J. (2019). *Logística de almacenamiento 2*. Ediciones paraninfo, SA.
- Fandiño Isaza, J. R., & Quíñonez Mosquera, A. (2020). Empresas resultado de investigación universitaria en la industria 4.0 en el caribe colombiano. *Aglala*, 11(1), 272–286. Recuperado a partir de <https://revistas.curn.edu.co/index.php/aglala/article/view/1647>
- Garrell, A., & Guilera, L. (2019). *La industria 4.0 en la sociedad digital*. Marge books.
- Gartner. (2016). Gartner's Enterprise Information Management Maturity Model.
- Ge, J., & Yan, H. (2022). Application of big data technology in intelligent logistics. In L. Y. & C. C. (Eds.), *3rd International Conference on Computer Science and Communication Technology, ICCSCT 2022* (Vol. 12506). SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.2661972>
- Iancu, E., Cibotariu, I., Hretcanu, C., & Ailenei, L. (2014). Innovation-Important source of economic growth? *Proceedings of the 24th International Business Information Management Association Conference - Crafting Global Competitive Economies: 2020 Vision Strategic Planning and Smart Implementation*, 287–291. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84926139864&partnerID=40&md5=90604f4631c0a988390e3e7f14fc81d8>
- Jimenez-Franco, M. A., & Gasparetto, V. (2020). Práticas para a gestão de custos logísticos em empresas industriais de grande porte da Colômbia. *Estudios Gerenciales*, 36(156), 364-373.
- CARIBBEAN JOURNAL OF MANAGEMENT SYSTEMS* ISSN 3028-3884; Enero-Diciembre 2023. Vol. 2, N°1.

Kumar, N., Kumar, G., & Singh, R. K. (2021). Big data analytics application for sustainable manufacturing operations: analysis of strategic factors. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 23(3), 965–989. <https://doi.org/10.1007/s10098-020-02008-5>

Llanes-Font, Mariluz; Salvador-Hernández, Yudith; Suárez-Benítez, Miguel Ángel; Morejón-Borjas, Martha María De procesos del negocio a procesos inteligentes en la industria 4.0 *Ciencias Holguín*, vol. 29, núm. 1, 2023 Centro de Información y Gestión Tecnológica de Holguín, Cuba Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181574471003>

Lo, S.-C., & Chuang, Y.-L. (2023). Vehicle Routing Optimization with Cross-Docking Based on an Artificial Immune System in Logistics Management. *Mathematics*, 11(4). <https://doi.org/10.3390/math11040811>

Mageto, J. (2022). Current and Future Trends of Information Technology and Sustainability in Logistics Outsourcing. *Sustainability (Switzerland)*, 14(13). <https://doi.org/10.3390/su14137641>

Mejía-Delgado, O. A., & Mejía-Delgado, Y. Y. (2022). Madurez tecnológica de la generación Z: reto de la transformación digital en Colombia. *Revista CEA*, 8(16), e1913. <https://doi.org/10.22430/24223182.1913>

Mthembu, M., & Du Plessis, T. (2018). Maturity mapping for continuous improvement: A case study of a revenue services institution. *South African Journal of Economic and Management Sciences*, 21(1), 1–10.

Oliver, D., & Lainhart, J. (2012). COBIT 5: Adding value through effective GEIT. *EDPACS*, 46(3), 1–12.

OPS. (2022). SISTEMAS DE INFORMACIÓN PARA LA SALUD. <https://www3.paho.org/ish/index.php/es/toolkit>

Paksoy, T., Kochan, C. G., & Ali, S. S. (Eds.). (2020). *Logistics 4.0: Digital transformation of supply chain management*. CRC Press.

Pappas, I. O., Mikalef, P., Giannakos, M. N., Krogstie, J., & Lekakos, G. (2018). Big data and business analytics ecosystems: paving the way towards digital transformation and sustainable societies. *Information Systems and E-Business Management*, 16(3), 479–491. <https://doi.org/10.1007/s10257-018-0377-z>

Perkumienė, D., Pranskūnienė, R., Vienažindienė, M., & Grigienė, J. (2020). The right to a clean environment: Considering green logistics and sustainable tourism. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(9). <https://doi.org/10.3390/ijerph17093254>

Proença, D., & Borbinha, J. (2018). Maturity Model Architect: A Tool for Maturity Assessment Support. 2018 IEEE 20th Conference on Business Informatics (CBI), 02, 42–51. <https://doi.org/10.1109/CBI.2018.10045>

Rathfelder, C., & Groenda, H. (2008). iSOAMM: An Independent SOA Maturity Model. In R. Meier & S. Terzis (Eds.), *Distributed Applications and Interoperable Systems* (pp. 1–15). Springer Berlin Heidelberg.

Seidel-Sterzik, H., McLaren, S., & Garnevska, E. (2018). A Capability Maturity Model for Life Cycle Management at the Industry Sector Level. *Sustainability*, 10(7). <https://doi.org/10.3390/su10072496>

Van Looy, A., De Backer, M., & Poels, G. (2010). Which maturity is being measured? A classification of business process maturity models. 5th SIKS/BENAIIS Conference on Enterprise Information Systems (EIS 2010), 662, 7–16.

Van Reine, P. P. (2016). Characteristics of open innovation cultures in different regional contexts. In *Open Innovation: A Multifaceted Perspective* (Vol. 1, pp. 475–516). <https://doi.org/10.1142/9760>

Viloria-Vilarete, E. E. (2022). Integración del Big Data en la Logística Portuaria como potencializador de la competitividad y la productividad. *Revista científica anfibios*, 5(1), 66-83.

Wang, Y., & Sarkis, J. (2021). Emerging digitalisation technologies in freight transport and logistics: Current trends and future directions. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 148. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102291>

Zeng, M., Cui, Z., & Wu, X. (2009). Research on location-routing problem of relief system based on emergency logistics. *IE and EM 2009 - Proceedings 2009 IEEE 16th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 228–232. <https://doi.org/10.1109/ICIEEM.2009.5344599>